



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS
ORTOANFIBOLITOS DAS UNIDADES NOVO GOSTO
E GENTILEZA, DOMÍNIO CANINDÉ, FAIXA DE
DOBRAMENTOS SERGIPANA, NE-BRASIL**

Leidiane Cerqueira de Carvalho de Liz

Orientadora: Profa. Dra. Adriane Machado

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão-SE

2017

Leidiane Cerqueira de Carvalho de Liz

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS ORTOANFIBOLITOS DAS
UNIDADES NOVO GOSTO E GENTILEZA, DOMÍNIO CANINDÉ,
FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA, NE-BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientadora: Dra. Adriane Machado

Co-Orientador: Dr. Joaquim Daniel de Liz

São Cristóvão–SE

2017

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS ORTOANFIBOLITOS DAS
UNIDADES NOVO GOSTO E GENTILEZA, DOMÍNIO CANINDÉ,
FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA, NE-BRASIL

por:

Leidiane Cerqueira de Carvalho de Liz


(Geóloga, Universidade Federal da Bahia – 2012)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

MESTRE EM GEOCIÊNCIAS

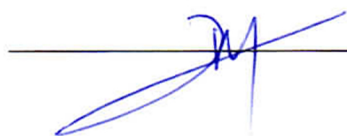
BANCA EXAMINADORA:



Dra. Adriane Machado [Orientadora – PGAB/UFS]



Dra. Cristine Lenz [Membro Externo – DGEOL/UFS]



Dr. Herbet Conceição [Membro Interno – PGAB/UFS]

Data da Defesa: 05/05/2017

DEDICATÓRIA

*À minha querida e amada mãe,
com muito amor!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por todas as bênçãos concedidas.

Aos meus pais e irmãos por todo carinho e sábios ensinamentos.

Ao meu esposo Daniel, por todo amor e carinho, pelo companheirismo, pelo incentivo, e por todas as discussões e críticas construtivas.

À minha orientadora, professora Adriane, por me aceitar como orientanda. Muito obrigada pelo suporte, por todos os ensinamentos, pela dedicação, preocupação, amizade e paciência. Obrigada por me tranquilizar nos momentos mais difíceis dessa jornada!

Ao nosso amigo José, pela ajuda no campo, pelo grande carisma e por toda a paciência.

Agradeço ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

À Capes, pela bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação.

A todos os professores que contribuíram para minha evolução no conhecimento geológico.

Ao professor Elson Paiva, pela atenção e disponibilização de dados.

Ao Departamento de Geologia da UFS, pela disponibilização do laboratório de microscopia ótica.

Ao Progeologia, pela disponibilização da serra.

Aos alunos de geologia da UFS (Luan, Lucas, Airton e Joemir), por toda força.

Aos amigos e familiares, por todo apoio e por compreender minhas ausências.

A todos que de alguma forma contribuíram na construção deste trabalho.

Muito obrigada!!!

RESUMO

No Domínio Canindé, porção norte da Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil, ocorrem rochas ígneas máficas metamorfizadas das unidades Novo Gosto e Gentileza. Estas rochas representam peças importantes na evolução geológica da faixa. O Domínio Canindé foi palco de diversas interpretações quanto ao ambiente geotectônico e petrogenético, devido à intensa deformação e metamorfismo, que obliteraram boa parte das feições originais das rochas do domínio. Neste trabalho são apresentados e discutidos dados petrográficos e geoquímicos dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, com o intuito de discorrer sobre os processos ígneos envolvidos na gênese dos protólitos, de forma a contribuir com a definição do ambiente tectônico de formação e dos principais aspectos evolutivos do Domínio Canindé. Os dados petrográficos indicam que as rochas estudadas possuem uma paragênese estabelecida no Fácies Anfibolito, marcada por hornblenda e plagioclásio, com transformações retrometamórficas para o Fácies Xisto Verde, definidas por biotita, epídoto, clorita e sericita. Essas transformações, que são mais intensas em áreas com concentrações de zonas de cisalhamento, são possivelmente o resultado da ação de fluidos hidrotermais. Apesar dos processos metamórficos superimpostos, foi possível observar feições ígneas reliquias, marcadas por texturas blasto-glomeroporfírica, blasto-intergranular e blasto-subofítica. Os dados químicos indicam, que os protólitos das rochas estudadas da Unidade Novo Gosto, correspondem à basaltos de afinidade toleítica, que podem ser divididos em alto-Ti ($> 2\% \text{ TiO}_2$) e baixo-Ti ($< 1,19\% \text{ TiO}_2$). As rochas da Unidade Gentileza correspondem, em sua maioria, à andesitos e andesitos basálticos de afinidade toleítica a cálcio-alcálica. A interpretação dos dados geoquímicos sugere que os protólitos ígneos das rochas estudadas foram formados em um ambiente de rifte continental, derivados de magmas gerados a partir de diferentes proporções de misturas entre reservatórios enriquecidos e empobrecidos, com contribuição de componentes tipo-OIB. Razões e correlações entre elementos incompatíveis sugerem a participação de contaminação crustal na geração dos protólitos ígneos das duas unidades.

Palavras-chave. Rifte, Contaminação crustal, Basaltos continentais

ABSTRACT

In the *Canindé* Domain, Northern portion of *Sergipano* Fold Belt, NE-Brazil, occur an association of metamorphized mafic igneous rocks from the *Novo Gosto* and *Gentileza* units. Those rocks represent important pieces in the *Sergipano* Fold Belt geological evolution. The *Canindé* Domain has been scenario of several interpretations about the tectonic and petrogenetic settings, due to intense deformation and metamorphism that obliterated much of the *Canindé* Domain rocks original features. Petrographic and geochemical data from the ortho-amphibolites of the *Novo Gosto* and *Gentileza* units showed this work contribute to discuss the igneous processes involved in the protoliths genesis, therefore building up to the *Canindé* Domain tectonic model definition and the major evolutionary aspects. The petrographic data indicate that the studied rocks show Amphibolite Facies paragenesis, marked by hornblende and plagioclase, with retrometamorphic transformations to Greenschist Facies, defined by biotite, epidote, chlorite and sericite paragenesis. These transformations, which were more intense in areas with shear zones concentrations, are probably, the result of hydrothermal fluid action. In spite of the superimposed metamorphic processes, it was possible to observe igneous relicts features, such as blast-glomeroporphyritic, blast-intergranular and blast-subophytic textures. The chemical data suggest that the protoliths of the studied rocks of the *Novo Gosto* and *Gentileza* units correspond to basalts with tholeiitic affinity. These basalts are divided into high-Ti ($> 2 \text{ \% TiO}_2$) and low-Ti ($< 1,19 \text{ \% TiO}_2$). *Gentileza* Unit rocks correspond to andesites and basaltic andesites with tholeiitic to calc-alkaline affinity. The geochemical data interpretation suggest that the igneous protoliths of the studied rocks of the *Novo Gosto* and *Gentileza* units were formed in a continental rift environment, derived from magmas generated in different proportions of mixtures between enriched and depleted reservoirs, with OIB-type components contribution. Ratios and correlations among incompatible elements indicate crustal contamination participation in the igneous protoliths generation of both units.

Keywords. Rift, Crustal contamination, Continental basalts

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
SUMÁRIO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
CAPÍTULO I - Introdução	10
CAPÍTULO II - Petrografia e Geoquímica dos Ortoanfibolitos das Unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil.	14
Resumo	15
Abstract:.....	15
1. Introdução.....	16
2. Área, materiais e métodos	17
2.1 Contexto Geológico Regional.....	17
2.2 Interpretações Geotectônicas do Domínio Canindé.....	20
2.3 Materiais e Métodos.....	21
3. Resultados.....	22
3.1 Geologia Local.....	22
3.1.1 Ortoanfibolitos - Unidade Novo Gosto	22
3.1.2 Ortoanfibolitos - Unidade Gentileza.....	23
3.2 Aspectos Petrográficos.....	24
3.2.1 Unidade Novo Gosto	24
3.2.2 Unidade Gentileza.....	27
3.3 Geoquímica.....	29
3.3.1 Avaliação da Mobilidade dos Elementos	30
3.3.2 Litoquímica da Unidade Gentileza	31

3.3.3 Litoquímica da Unidade Novo Gosto	37
4. Discussões dos Resultados	39
4.1 Relações petrogenéticas e suas implicações no ambiente tectônico	39
5. Conclusões.....	48
Referências	50
CAPÍTULO III - Conclusões.....	54
ANEXOS	57
APÊNDICE	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Localização da FDS em relação ao Cráton São Francisco e a Província Borborema; B) Mapa geológico regional da FDS (Fonte: Oliveira <i>et al.</i> , 2010). As siglas ZCM, ZCBMJ, CZSMA e ZCI correspondem às zonas de cisalhamento Macururé, Belo Monte-Jeremoabo, São Miguel do Aleixo e Itaporanga, respectivamente. As siglas CRN correspondem aos pontos analisados por Nascimento (2005), enquanto que CS e PL correspondem aos pontos de coleta e análise realizadas neste trabalho. C) Mapa geológico da área estudada - porção central do Domínio Canindé (modificado de Teixeira <i>et al.</i> , 2014) e porção sul do estado de Alagoas (Fonte: Mendes <i>et al.</i> 2017).....	19
Figura 2. Afloramento de ortoanfibolito da Unidade Novo Gosto com textura equigranular de granulação fina.	23
Figura 3. A) Panorama fotográfico do afloramento da Unidade Gentileza na rodovia SE-200, evidenciando as interações entre termo máfico (ortoanfibolito) e félsico (metasienogranito), marcadas por feições mingling com interdigitações complexas, com porções hibridizadas localizadas; B) Afloramento típico da Unidade Gentileza com ortoanfibolito com textura equigranular média.	24
Figura 4. Aspectos microscópicos dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto. A) Textura blasto-glomeroporfírica de plagioclásio, com a presença de grão zonado na porção inferior esquerda da fotomicrografia (luz polarizada); B e D) Texturas blasto-integrular e blasto-subofítica marcadas por cristais ripidiformes de plagioclásio isotrópicos, parcialmente envolvidos por cristais de hornblenda (luz natural e luz polarizada); C) Textura nematoblástica marcada pela orientação dos cristais de hornblenda (luz natural). Siglas: Pl = plagioclásio, Hbl = hornblenda, Chl = clorita (Abreviações conforme Bucher & Grapes, 2011).....	26
Figura 5. Aspectos microscópicos dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza. A) Detalhe de grão de hornblenda com borda substituída por biotita (luz natural); B) Detalhe de grão de mineral opaco com transformação nas bordas para titanita (luz natural); C e D) Detalhe de textura nematoblástica marcada pela orientação incipiente de cristais de hornblenda e plagioclásio, com presença de subgrãos de quartzo (luz natural e polarizada). Siglas: Pl = plagioclásio, Hbl = hornblenda, Op = minerais opacos, Ttn = titanita, Bt = biotita, Qz = quartzo, Ap = apatita.	29
Figura 6. Comparação dos elementos Nb, Hf, Ta, Ce, Sm, Y, Rb, Ba, Sr, Ti, Th e V versus Zr, para avaliação da mobilidade desses elementos nos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.....	31
Figura 7. Diagrama de classificação Zr/Ti <i>versus</i> Nb/Y (Pearce, 1996) para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.	34
Figura 8: Diagrama de classificação de Jensen (1976) para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.....	34

Figura 9. Diagramas binários de variação de elementos maiores (percentagem de peso) <i>versus</i> o MgO (percentagem de peso), para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.....	35
Figura 10. Diagramas de variação de elementos-traço (ppm) <i>versus</i> MgO (%), para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.....	36
Figura 11. Padrões de abundância dos elementos terras raras e elementos-traço dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza. (A) Diagrama de elementos terras raras normalizados pelo Condrito C1 e (B) Diagrama multi-elementar de elementos-traço normalizado pelo Manto Primitivo. Os padrões de normalização são de McDonough & Sun (1995).....	37
Figura 12. Diagramas de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das Unidades Novo Gosto e Gentileza. A) Zr <i>versus</i> Z/Y (Pearce & Norry, 1979); B) Ti <i>versus</i> Zr (Pearce, 1996). Abreviações: VAB- Basalto de arco vulcanico; WPB- basalto intraplaca.....	40
Figura 13. Diagramas ternários de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das unidades Novo Gosto e Gentileza. A) V-Ti-Sm (Vermeesh, 2006); B) Ti/V– Zr/Sm–Sr/Nd (Wang <i>et al.</i> , 2016). Abreviações: MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica; OIB - basaltos de ilha oceânica; IAB- basaltos de arco de ilha.....	41
Figura 14. Diagramas de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das unidades Novo Gosto e Gentileza. (A) Nb/Yb <i>vs.</i> Th/Yb (Pearce, 2008); (B) Nb _N <i>vs.</i> Th _N (Saccani, 2015). Os elementos estão normalizados pelo N-MORB (Sun & McDonough, 1989). Abreviações: N-MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica; E-MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica enriquecidos; OIB - basaltos de ilhas oceânicas; AGFP - aumento de grau de fusão parcial da fonte; EZSS - enriquecimento de zona de suprasubducção; AFC – assimilação concomitante com cristalização fracionada; EC-OIB – enriquecimento em componentes tipo OIB; CF – cristalização fracionada.	43
Figura 15. Diagramas multi-elementar de elementos-traço normalizados pelo manto primitivo (McDonough & Sun, 1995) dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza comparados com: A) N-MORB, E-MORB, OIB (Sun & McDonough, 1989), CCS (crosta continental superior) e CCI (crosta continental inferior) (Rudnick & Gao, 2003); B) Rochas básicas de rifte continental da Formação Serra Geral (FSG), representada por basaltos e basaltos andesíticos alto-Ti tipo Urubici (Mincato, 2000) e Paranapanema (Rocha-Júnior <i>et al.</i> , 2013) e basaltos baixo-Ti tipo Esmeralda (Peate, 1996), e basaltos do Arco de Ilha do Arco de Sunda (Chandrasekharam <i>et al.</i> , 2009).....	45
Figura 16. Razões La/Sm <i>vs.</i> Nb/La para os ortoanfibolitos das unidades (A) Gentileza e (B) Novo Gosto.....	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composições químicas de elementos maiores, menores, traços e terras raras de amostras representativas das unidades Novo Gosto e Gentileza, no Domínio Canindé. Abreviação: P.F.= Perda ao fogo; n.d.= Não determinado.....	31
Tabela 2. Razões Nb/La e Sm/Nd dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, N-MORB, OIB, E-MORB, CCS e CCI. Fontes: N-MORB, E-MORB e OIB (Sun & McDonough, 1989); Crosta Continental Superior (CCS) e Crosta Continental Inferior (CCI) (Rudnick e Gao, 2003).....	46
Tabela 3. Comparação de razões de elementos-traço, ETR e ETR normalizados pelo Condrito CI (McDonough e Sun, 1995) e dados isotópicos de $\epsilon\text{Nd}(t)$ dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza. Os dados das amostras iniciadas pela sigla CRN foram obtidos de Nascimento (2005). Abreviação: n.d. = não determinado.....	47

CAPÍTULO I - Introdução

INTRODUÇÃO

O estudo do magmatismo de rochas básicas tem se mostrado de grande importância na investigação de processos geodinâmicos, no entendimento da natureza e evolução do manto litosférico, bem como na determinação de ambientes geotectônicos. As variações petrogenéticas do magmatismo básico pré-cambriano, assim como os diferentes processos secundários como metamorfismo e tectônica, induzem a assinaturas petrológicas e geoquímicas complexas (Mazzucchelli *et al.*, 2000; Menezes Leal *et al.*, 2000; Iacumin *et al.*, 2001; Campo & Philipp, 2007) e dificultam a caracterização e interpretação do magmatismo básico.

No Domínio Canindé, porção norte da Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS), ocorrem rochas máficas que foram metamorfozadas e deformadas no Neoproterozóico (Oliveira *et al.*, 2010), que representam peças importantes da história geológica regional. A FDS é um cinturão de dobramentos e cavalgamentos pré-cambriano do nordeste do Brasil, com uma complexidade geológica evidenciada nos diversos domínios estruturais e litológicos que a compõe. Esta faixa foi formada a partir da colisão continental entre o Cráton Congo-São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas, durante a Orogenia Brasileira/Pan-Africana (Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves & Fuck, 2013). Segundo Oliveira *et al.* (2015), este cinturão é a chave para a reconstrução de parte do Gondwana Ocidental.

Conforme Nascimento (2005), o Domínio Canindé é composto por uma sequência de metassedimentos e metavulcânicas (Unidade Novo Gosto) e subvulcânicas (Unidade Gentileza), que são intrudidas por rochas da Suíte Gabróica Canindé e granitos diversos.

A Unidade Novo Gosto é formada essencialmente por metagrauvacas, metapelitos, metassiltitos, metacherts, xistos, grafita-xistos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos (Nascimento *et al.*, 2005, Oliveira & Tarney 1990, Oliveira *et al.*, 2010, Oliveira *et al.*, 2014). A Unidade Gentileza é formada essencialmente por anfibolitos e dioritos, intercalados com quartzo-monzonitos porfiríticos, doleritos e corpos gabróicos (Oliveira *et al.*, 2010, 2014). A Suíte Gabróica Canindé compreende um corpo maciço acamadado, alongado na direção WNW-ESE, de composição litológica variada (olivina gabronorito, leucogabro, anortosito, troctolito), com volumes menores de gabro pegmatítico, norito e peridotito (Oliveira *et al.*, 2010, 2014). Neste corpo observa-se a presença de feições indicadoras de diferenciação magmática, tais como bandamento primário e textura cumulática (Oliveira & Tarney 1990, Nascimento 2005). Oliveira *et al.* (2010) incluem no Domínio

Canindé a Unidade Garrote, que compreende um *sheet* de granito contínuo de até 2 km de largura, fortemente deformado e intrusivo nas rochas da Unidade Novo Gosto.

Devido à complexidade geológica, o Domínio Canindé foi alvo de diversas interpretações petrogenéticas e geotectônicas (Silva Filho, 1976; Oliveira & Tarney, 1990; Bezerra, 1992; Nascimento, 2005; Verma & Oliveira, 2015; Passos, 2016), sendo portanto, considerada uma área intrigante, no que se refere a origem e processos de formação ocorridos durante a evolução da FDS (Oliveira *et al.*, 2010).

A difícil definição dos processos e ambiente geotectônico de formação das rochas que compõem o Domínio Canindé é influenciada, pela intensa deformação e metamorfismo, que obliteraram grande parte das feições diagnósticas originais dessas rochas, principalmente estruturas e texturas.

Os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza são o objeto de estudo deste trabalho, com o objetivo geral de analisar e interpretar as características de campo, petrográficas e geoquímicas, e com isso contribuir na compreensão dos processos petrogenéticos e ambiente geotectônico envolvidos na formação dessas rochas.

Os objetivos específicos incluem o estudo das principais características dos ortoanfibolitos das Unidades Novo Gosto e Gentileza, a partir de observações de campo, buscando estabelecer as relações temporais, bem como a caracterização petrográfica dessas rochas, com o intuito de identificar aspectos texturais e microestruturais, paragêneses e condições metamórficas que afetaram essas rochas. A caracterização geoquímica das rochas, foi efetuada visando identificar e comparar os diferentes processos geológicos, além do ambiente geotectônico envolvido na geração das rochas estudadas.

O capítulo II desta dissertação está organizado em formato de artigo, intitulado “Petrografia e Geoquímica dos Ortoanfibolitos das Unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil”. Este artigo foi submetido à revista científica “Pesquisas em Geociências” (versão eletrônica), avaliada pela CAPES como nível B2. A carta que atesta a submissão do artigo encontra-se no anexo I, enquanto que a justificativa de participação dos coautores do artigo é encontrada no apêndice.

As coordenadas dos principais afloramentos visitados e descritos, bem como a indicação das amostras que foram analisadas por petrografia e geoquímica encontram-se no anexo II. No anexo III estão dispostos os dados modais das principais amostras, obtidos a partir da petrografia. E por fim, no anexo IV encontram-se disponíveis todos os dados geoquímicos obtidos neste trabalho.

- Bezerra, F.H.R. 1992. *Geologia e evolução petrológica do Complexo gabróico Canindé do São Francisco e rochas adjacentes (Sergipe e Alagoas)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 220 p.
- Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A. 2013. Neoproterozoic evolution of the basement of the South-American platform. *Journal of South American Earth Sciences*, 47: 72-89.
- Campos, R.S. & Philipp, R.P. 2007. Petrografia e geoquímica das rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas do Complexo Metamórfico Brusque, região da Serra da Miséria, Itapema, SC. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4): 705-726.
- Iacumin, M., De Min, A., Piccirillo, E.M. & Bellieni, G. 2003. Source mantle heterogeneity and its role in the genesis of Late Archaean-Proterozoic (2.7–1.0 Ga) and Mesozoic (200 and 130 Ma) tholeiitic magmatism in the South American Platform. *Earth-Science Reviews*, 62: 365-397.
- Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Menezes Leal, A.B., Girardi, V.A.V., Brito Neves, B. B. & Teixeira, W. 2000. Petrology of metabasaltic dykes in the Diamantina region, Minas Gerais, Brazil. *Periodico di Mineralogia*, 70: 231-254.
- Menezes Leal, A.B., Girardi, V.A.V. & Bastos Leal, L.R. 2000. Petrologia e Geoquímica do Magmatismo Básico da Suíte Básica Apoteri, Estado de Roraima - Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 14: 155-174.
- Nascimento, R. S. 2005. *Domínio Canindé, Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil: um estudo geoquímico e isotópico de uma seqüência de rifte continental neoproterozóica*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Campinas, 159p.
- Oliveira, E.P. & Tarney, J. 1990. Petrogenesis of the Canindé do São Francisco complex: a major late Proterozoic gabbroic body in the Sergipano fold belt, NE Brazil. *Journal South American Earth Science*, 3: 125-140.
- Oliveira, E.P., Windley, B.F. & Araújo, M.N.C. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181: 64-84.
- Oliveira, E.P., Bueno, J.F., McNaughton, N.J., Silva Filho, A.F., Nascimento, R.S. & Donatti-Filho, J.P. 2015. Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, xx: 1-24.
- Passos, L.H. 2016. *Caraterização petrográfica, química mineral e geotermobarometria de rochas da Unidade Novo Gosto, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 225p.
- Silva Filho, M.A. 1976. A suíte ofiolítica da Geossinclinal de Propriá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976, Ouro Preto. *Anais...Ouro Preto, SBG*, p. 51.
- Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B. & Hackspacher, P.C. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 267–288.
- Verma, S.K. & Oliveira, E.P. 2015. Tectonic setting of basic igneous and metaigneous rocks of Borborema Province, Brazil using multi-dimensional geochemical discrimination diagrams. *Journal of South American Earth Sciences*, 58: 309-317.

CAPÍTULO II - Petrografia e Geoquímica dos Ortoanfibolitos das Unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil.

Petrografia e Geoquímica dos Ortoanfibolitos das Unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil

Petrography and Geochemistry of Ortho-amphibolites from Novo Gosto and Gentileza Units, Canindé Domain, Sergipana Fold Belt, NE-Brazil

Leidiane Cerqueira de Carvalho de LIZ¹, Adriane MACHADO^{1,2}, Joaquim Daniel de LIZ² & Josiene Maria de ALMEIDA¹

- (¹) Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão – SE, Brasil. E-mail: leidiane.cerqueira@gmail.com, adrianemachado@yahoo.com.br, josyy42@hotmail.com
- (²) Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000 São Cristóvão – SE, Brasil. E-mail: joaquimdiz@gmail.com

Resumo - No Domínio Canindé, situado na porção setentrional da Faixa de Dobramentos Sergipana, no nordeste do Brasil, ocorrem rochas ígneas máficas metamorizadas, que representam as unidades Novo Gosto e Gentileza. A difícil definição do ambiente geotectônico de formação e petrogênese dessas rochas é influenciada pela intensa deformação e metamorfismo, que obliteraram boa parte das feições originais. Este trabalho visa o entendimento dos processos ígneos envolvidos na gênese dos protólitos dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, apoiados em dados de campo, petrográficos e geoquímicos. Os dados petrográficos sugerem que os ortoanfibolitos de ambas as unidades foram metamorizados no Fácies Anfibolito e sofreram processos retrometamórficos no Fácies Xisto Verde. Apesar do metamorfismo, estas rochas ainda apresentam, ao microscópio, feições ígneas reliquias. Os dados geoquímicos indicam, que o protólito das rochas da Unidade Novo Gosto, correspondem à basaltos de afinidade toleítica, enquanto que às da Unidade Gentileza correspondem, em sua maioria, à andesitos e andesitos basálticos com afinidade toleítica à cálcio-alcalina. Com base na interpretação geoquímica, é assumido que as rochas estudadas foram formadas em um ambiente de rifte continental, que envolveram fontes sublitosféricas metassomatizadas por subducção prévia, com contribuição de componentes tipo OIB e possível participação de contaminação crustal.

Palavras-chave. Rifte, Contaminação crustal, Basaltos continentais

Abstract: In the *Canindé* Domain, which is located in the Northern portion of the *Sergipano* Fold Belt, in Northeast Brazil, out crop ortho-amphibolites that represent *Novo Gosto* and *Gentileza* units. The difficult in define the geotectonic settings of formation

from these rocks and their petrogenesis is influenced by the intense deformation and metamorphism. These processes obliterated part of the main original features of the rocks. This work aims to understand the igneous processes involved in the genesis of ortho-amphibolites protoliths from *Novo Gosto* and *Gentileza* units, based on field, petrographic and geochemical data. The petrographic data suggest that the ortho-amphibolites of both units have metamorphosed in Amphibolite Facies and have submitted to retrometamorphic conditions processes in Greenschist facies. Some portions of the studied area present hydrothermal processes evidences, which are intense when associated with shear zones. Although the metamorphism, the ortho-amphibolites still show igneous relics features, mainly in microscopic observations. The geochemical data indicate the protoliths of the studied rocks from *Novo Gosto* Unit correspond to toleitic basalts, while the *Gentileza* Unit correspond mainly to andesites and basaltic andesites, with toleitic to calc-alkaline affinity. Based on the geochemical interpretations, the studied rocks have formed in a continental rift environment, involving sub-continental lithospheric mantle, modified by paleo-subduction sources, with contribution of OIB-type components and possible participation of crustal contamination.

Keywords. Rift, Crustal contamination, Continental basalts

1. Introdução

A investigação de rochas ígneas básicas metamorfizadas envolvendo a petrografia e geoquímica, tem fornecido significativas contribuições na reconstrução da história geológica de áreas complexas. Esses trabalhos têm demonstrado que é possível obter dados importantes relacionados à gênese das rochas, ao tipo de ambiente geotectônico, às características das fontes magmáticas, além de evidenciar os sucessivos eventos de deformação e metamorfismo que afetaram essas rochas (Ernst *et al.*, 1991; Menezes Leal *et al.*, 2008; Khalifa *et al.*, 2011).

Desde os anos 70, diversos estudos petrogenéticos e geoquímicos foram desenvolvidos, com o objetivo de caracterizar as diferentes assinaturas dos magmas básicos e correlacionar com os respectivos ambientes tectônicos. A partir desses estudos, inúmeros diagramas de discriminação tectônica foram propostos (p. ex.: Pearce & Cann, 1973; Pearce & Norry, 1979; Wood, 1980; Pearce, 1982; Shervais, 1982; Meschede, 1986; Pearce, 1996; Vermeesch, 2006; Verma *et al.*, 2006; Agrawal *et al.*, 2008; Pearce, 2008; Verma & Agrawal, 2011; Saccani, 2015; Wang *et al.*, 2016), com o intuito de identificar e entender os processos envolvidos na geração e evolução dos magmas e assim, desvendar a afinidade tectônica de rochas básicas antigas. Atualmente, a maioria dos trabalhos desenvolvidos nesta área tem utilizado a combinação de diferentes diagramas para determinar, de forma satisfatória, as fontes, processos e ambientes tectônicos em que foram geradas as rochas básicas antigas (Pearce, 2014; Verma & Oliveira, 2015; Wang *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017).

No Domínio Canindé, localizado na porção norte da Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS), NE-Brasil, ocorrem rochas ígneas máficas metamorfizadas nas unidades Novo Gosto e Gentileza, que representam peças importantes para o entendimento da evolução geológica

regional. Devido à complexidade causada pelos processos metamórficos e deformacionais superimpostos nessas rochas, este domínio foi palco de diversas interpretações petrogenéticas e geotectônicas, sendo portanto, considerada uma área intrigante, no que se refere à origem e processos de formação ocorridos durante a evolução da FDS (Oliveira *et al.*, 2010).

Neste trabalho são apresentados e discutidos os dados petrográficos e geoquímicos dos ortoanfibolitos das unidades Gentileza e Novo Gosto, com o objetivo de discorrer sobre os processos ígneos envolvidos na geração dos protólitos dessas rochas, de forma a contribuir para o entendimento do ambiente tectônico de formação e dos principais aspectos evolutivos do Domínio Canindé.

2. Área, materiais e métodos

2.1 Contexto Geológico Regional

A área estudada está situada no sul da Província Borborema, inserida na porção norte da FDS, no nordeste do Brasil (Fig. 1A e B). Esta faixa compreende um cinturão orogênico neoproterozoico, com forma triangular e direção WNW-ESE, localizado entre o Cráton São Francisco, a sul, e o Maciço Pernambuco-Alagoas, a norte (Oliveira *et al.*, 2010).

A FDS foi dividida, de norte a sul, em seis domínios litotectônicos distintos: Canindé, Poço Redondo, Marancó, Macururé, Vaza-Barris e Estância (Davison & Santos, 1989; Silva Filho, 1998; Oliveira *et al.*, 2006). Posteriormente, Oliveira *et al.* (2010) agruparam os domínios Marancó e Poço Redondo e denominaram de Domínio Marancó-Poço Redondo, compartimentando a faixa em apenas cinco domínios (Fig. 1B). Cada um dos domínios está limitado, de norte a sul, por zonas de cisalhamento compressionais, denominadas: Macururé, Belo Monte-Jeremoabo, São Miguel do Aleixo e Itaporanga (Davison & Santos, 1989; D'el-Rey Silva, 1995; Silva Filho, 1998; Oliveira *et al.*, 2010, 2015).

O Domínio Canindé está situado na região mais setentrional da FDS e constitui um corpo alongado, de direção NW-SE, paralelo ao Rio São Francisco, com cerca de 4 a 10 km de largura (Fig. 1B). Este domínio limita-se ao sul com o Domínio Poço Redondo pela Zona de Cisalhamento Mulungú-Alto Bonito, que é a extensão oriental da Zona de Cisalhamento Macururé, limitando-se a leste com o Domínio Macururé, a norte com o Maciço Pernambuco-Alagoas e a sudoeste, com a cobertura sedimentar da Bacia Tucano-Jatobá.

O Domínio Canindé (Fig. 1C) compreende uma sequência de metassedimentos e metavulcânicas pertencentes à Unidade Novo Gosto, anfibolitos e dioritos intercalados com quartzo-monzonitos porfiríticos, além de doleritos e corpos gabróicos, que correspondem a

Unidade Gentileza, sendo que ambas as unidades supracitadas ocorrem intrudidas pelas rochas da Suíte Gabróica Canindé e granitos diversos (Nascimento, 2005; Oliveira & Tarney 1990, Oliveira *et al.* 2010, Oliveira *et al.* 2014). Conforme Oliveira *et al.* (2010), a Unidade Gentileza apresenta uma íntima associação com os granitos da Suíte Intrusiva Curralinho, com misturas tipo *mingling*, além de rochas híbridas de composições quartzo monzodioríticas porfíricas. Estes autores incluem no Domínio Canindé, a Unidade Garrote, que compreende um *sheet* granítico, intrusivo na Unidade Novo Gosto, que foi fortemente deformado.

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), a sedimentação da Unidade Novo Gosto, provavelmente iniciou em 715 Ma (idade U/Pb em zircão do granito da Unidade Garrote), e perdurou até pelo menos 625 Ma (idade do zircão detrítico mais jovem). Dados isotópicos da Suíte Gabróica Canindé indicaram idades de colocação em 690 ± 16 Ma pelo método U-Pb (SHRIMP) em zircão (Nascimento, 2005) e de $702 \pm 5,5$ Ma por Ar-Ar em flogopita (Brito *et al.*, 2006). As datações obtidas pelo método U-Pb em cristais de zircão de rochas quartzo-monzodioríticas da Unidade Gentileza resultaram na idade de 688 ± 15 Ma e $684 \pm 7,3$ Ma, para o granito da Suíte Intrusiva Curralinho (Nascimento, 2005; Oliveira *et al.*, 2010). As idades dos granitos mais jovens, intrusivos nessas unidades, variam de 641 Ma a 619 Ma, destacando-se o Granito Boa Esperança com 641 ± 5 Ma (Nascimento, 2005), a Suíte Intrusiva Sítios Novos com 631 ± 4 Ma, a Suíte Intrusiva Coronel João Sá com 625 ± 2 Ma, e o Granito Lajedinho com 619 ± 3 Ma (Oliveira *et al.*, 2015).

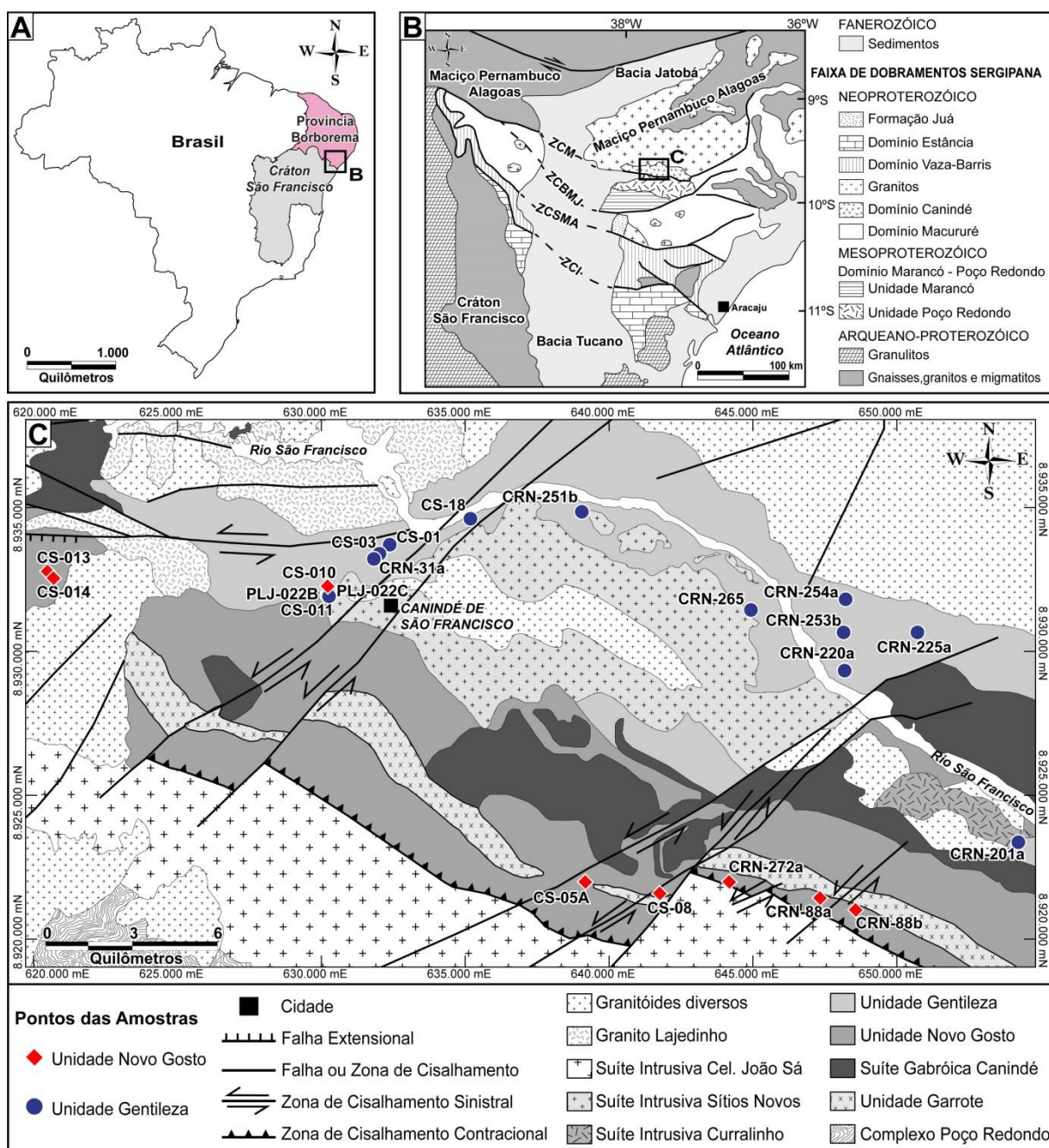


Figura 1. A) Localização da FDS em relação ao Cráton São Francisco e a Província Borborema; B) Mapa geológico regional da FDS (Fonte: Oliveira *et al.*, 2010). As siglas ZCM, ZCBMJ, CZSMA e ZCI correspondem às zonas de cisalhamento Macururé, Belo Monte-Jeremoabo, São Miguel do Aleixo e Itaporanga, respectivamente. As siglas CRN correspondem aos pontos analisados por Nascimento (2005), enquanto que CS e PL correspondem aos pontos de coleta e análise realizadas neste trabalho. C) Mapa geológico da área estudada - porção central do Domínio Canindé (modificado de Teixeira *et al.*, 2014) e porção sul do estado de Alagoas (Fonte: Mendes *et al.*, 2017).

Figure 1. A) Sergipano Fold Belt location related to São Francisco Craton and Borborema Province; B) Regional geological map of Sergipano Fold Belt (Source: Oliveira *et al.*, 2010). ZCM, ZCBMJ, CZSMA and ZCI initials correspond to Macururé, Belo Monte-Jeremoabo, São Miguel do Aleixo and Itaporanga shear zones, respectively. CRN initials correspond to the points analyzed by Nascimento (2005), while CS and PL correspond to the points of

collection and analysis performed in this work. C) Geological map of the studied area - Canindé Domain central portion (modified from Texeira et al., 2014) and southern portion of the state of Alagoas (Source: Mendes et al., 2017).

2.2 Interpretações Geotectônicas do Domínio Canindé

Com a evolução do conhecimento sobre a FDS, principalmente em relação à dados geocronológicos e geoquímicos, diversas interpretações têm sido apresentadas para a evolução desta faixa, havendo desde modelos mais antigos, com interpretações relacionadas à um geossinclinal típico (Humphrey & Allard, 1968; Brito Neves *et al.*, 1977), até o modelo mais atual, envolvendo dados de campo e estruturais, apoiados em dados geocronológicos de Sm-Nd, Ar-Ar e U-Pb, defendido por Oliveira *et al.* 2010, que propõem um ciclo completo de tectônica de placas durante o Neoproterozóico, com a convergência entre o Cráton São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas.

Assim como a FDS, o Domínio Canindé também foi alvo de diversas interpretações quanto ao ambiente geotectônico e petrogenético. Uma das primeiras interpretações deve-se a Silva Filho (1976), que interpretou esse domínio como um complexo ofiolítico. Mais tarde, Jardim de Sá *et al.* (1986) sugeriram um ambiente de arco de ilha. Posteriormente, Oliveira & Tarney (1990) interpretaram este domínio como o registro de um magmatismo intracontinental e ressaltaram a similaridade, tanto dos gabros quanto dos anfibolitos ortoderivados das unidades Gentileza e Novo Gosto, com basaltos continentais da Bacia do Paraná. Em seguida, Bezerra (1992) sugeriu um ambiente anorogênico intracontinental para a formação do Domínio Canindé. Silva Filho (1998) propôs que este domínio representa uma sequência de arco intraoceânico. Outra interpretação foi apresentada por Nascimento (2005) que, com base em relações de campo, geoquímica e dados isotópicos, sugere que a sequência de rochas do Domínio Canindé foi gerada em um ambiente de rifte continental. Oliveira *et. al.* (2010) sustentam as interpretações que o Domínio Canindé representa um ambiente de rifte continental e sugerem que o rifteamento iniciou em cerca de 715 Ma, com a colocação de um magmatismo bimodal, representado pela Unidade Garrote e as rochas vulcânicas máficas continentais da Unidade Novo Gosto, seguidos pela colocação da Suíte Gabróica Canindé (~700 Ma), microgabros e quartzo-monzonitos da Unidade Gentileza (688 Ma) e Suíte Intrusiva Curralinho (684 Ma), e finalizou com a colocação do Granito Boa Esperança (641 Ma). Estes autores apontam a possibilidade do rifte ter evoluído para uma bacia oceânica, em função da presença de anfibolitos intercalados com lentes de mármore e ocorrência de basaltos com estruturas em *pillows* na Unidade Novo Gosto, e sugerem que o fechamento

desta bacia teria iniciado em torno de 630 Ma, com a intrusão dos granitos mais jovens tipo arco. Verma & Oliveira (2015) reacenderam a discussão, com a publicação de um estudo geoquímico baseado em diagramas discriminantes multidimensionais, nos quais sugerem que os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza foram gerados em ambiente de arco a rifte continental, enquanto que os ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto teriam se formado em ambiente de arco de ilha. Por fim, Passos (2016) reinterpreto os dados geoquímicos obtidos por Nascimento (2005) para os ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto e sugeriu que os protólitos ígneos dessa unidade foram formados em um ambiente de zona de supra-subducção, enquanto que o material sedimentar teria sido originado em uma bacia de margem passiva.

2.3 Materiais e Métodos

A etapa inicial da pesquisa constou do levantamento bibliográfico sobre a geologia regional, visando selecionar informações geológicas básicas. Durante os trabalhos de campo foram descritos 24 afloramentos, abrangendo observações quanto aos contatos geológicos, presença de estruturas primárias (ígneas) e secundárias (tectônicas), identificação de texturas e mineralogia, além da coleta de 30 amostras de rocha. Os pontos descritos foram localizados mediante uso do GPS da marca *Garmin*, modelo *GPSmap 62S*, com coordenadas configuradas em projeção UTM e *Datum* WGS-84.

A partir das amostras coletadas foram confeccionadas 17 lâminas delgadas, para análise petrográfica em luz transmitida, das quais 10 lâminas representam as rochas estudadas. Estas seções delgadas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da Universidade de Brasília (UnB). As descrições petrográficas foram realizadas utilizando-se o microscópio *Olympus BX41* do Laboratório de Microscopia e Lupas do Departamento de Geologia, da Universidade Federal de Sergipe.

Para análise de composições químicas de elementos maiores, menores, elementos-traço e elementos terras raras (ETR), um conjunto de 14 amostras foi analisado. Deste conjunto, 11 amostras foram utilizadas neste trabalho. As amostras foram preparadas e analisadas no SGS-Geosol Laboratórios Ltda., em Minas Gerais, utilizando-se a técnica de ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) para elementos maiores e cromo, e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) para elementos-traço e elementos terras raras. Os limites de detecção para a maioria dos elementos maiores ficaram na ordem de 0,01% e de 0,1 ppm para elementos-traço. A maior parte dos dados químicos foram tratados em diagramas elaborados no *software GCDkit (Geochemical*

Data Toolkit for Windows), versão 4.1, que consiste em um sistema de manipulação e recálculo de dados geoquímicos, para análises de rocha total em rochas ígneas e metamórficas. Na construção e edição do mapa geológico foram utilizados os *softwares* *MapInfo Professional* 12.0 e *Adobe Illustrator* CS5.

3. Resultados

3.1 Geologia Local

3.1.1 Ortoanfibolitos - Unidade Novo Gosto

As rochas da Unidade Novo Gosto estendem-se ao longo de uma faixa descontínua (NW-SE), com aproximadamente 45 km de comprimento e 3 a 7 km de largura. Estas rochas ocorrem delineadas, principalmente, entre a Suíte Intrusiva Sítios Novos, a Unidade Gentileza e a Suíte Gabróica Canindé a norte, e a Suíte Intrusiva Coronel João Sá a sul (Fig. 1C). As rochas de filiação ígnea presentes nessa unidade ocorrem de duas formas principais: uma predominante, que ocorre como corpos tabulares centimétricos a métricos intercalados com metacherts, metamargas, mármore e xistos; e outra que ocorre na forma de diques. No primeiro caso, devido ao intenso metamorfismo e deformação impressos, não é possível assumir, com clareza, se originalmente eram rochas efusivas ou intrusivas do tipo soleira. Macroscopicamente, essas rochas são representadas por anfibolitos de coloração cinza escuro a esverdeado, com foliação fraca e granulometria fina (Fig. 2). A mineralogia essencial dessas rochas é composta por anfibólio e plagioclásio, com variados conteúdos de biotita, clorita e epídoto. Venulações oblíquas à orientação principal (N130/85), preenchidas por calcita e/ou epídoto, são observadas nessas rochas, principalmente nas proximidades dos granitos tardios, sugerindo processos hidrotermais.

As rochas em forma de diques ocorrem na porção oeste da área, próximo a Unidade Gentileza, onde são intrusivas em um corpo metasienogranítico. Nesta condição, as rochas apresentam-se menos deformadas, sendo possível observar claramente os contatos sinuosos com o metasienogranito, além de feições ígneas reliquias marcadas por cristais ripidiformes de plagioclásio, que estão imersos em uma matriz equigranular fina, de coloração cinza escuro.



Figura 2. Afloramento de ortoanfibolito da Unidade Novo Gosto com textura equigranular de granulação fina.

Figure 2. A) Ortho-amphibolite outcrop of Novo Gosto Unit; showing fine-grained and equigranular textures.

3.1.2 Ortoanfibolitos - Unidade Gentileza

As rochas máficas da Unidade Gentileza encontram-se em contato com vários tipos litológicos, em especial, ocorrem contatos tectônicos com a Suíte Intrusiva Canindé e com as rochas da Unidade Novo Gosto, bem como contatos bruscos e irregulares com granitos da Suíte Intrusiva Sítios Novos e Granito Lajedinho (Fig. 1C). Estas rochas ocorrem como anfibolitos com aspecto maciço a pouco foliado, com coloração variando de cinza escura à verde escura e textura equigranular fina a média. Macroscopicamente é possível observar uma mineralogia composta principalmente por plagioclásio, anfibólio e biotita.

A filiação ígnea dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza é destacada pelas feições de misturas tipo *mingling* e *mixing*, evidenciadas por interações entre termo máfico (ortoanfibolito) e termo félsico, representado por metasienogranito (Suíte Intrusiva Curralinho?) (Fig. 3A). Nas porções em que há o predomínio da rocha félsica, a rocha máfica ocorre na forma de corpos intrusivos tabulares, com contatos interdigitados a localmente retos. Nessas porções, a textura fina é predominante e evidencia um resfriamento mais rápido do termo máfico em contato com a rocha félsica de granulação grossa (Fig. 3B). Em porções onde o volume de rocha máfica é maior que o volume de rocha félsica, observa-se maior interação entre esses termos, sendo comum a presença de misturas tipo *mixing*, com geração de rochas híbridas. Ainda nessas porções, ocorre a presença de feições *co-mingling*, evidenciadas por enclaves máficos envolvidos por rochas híbridas.

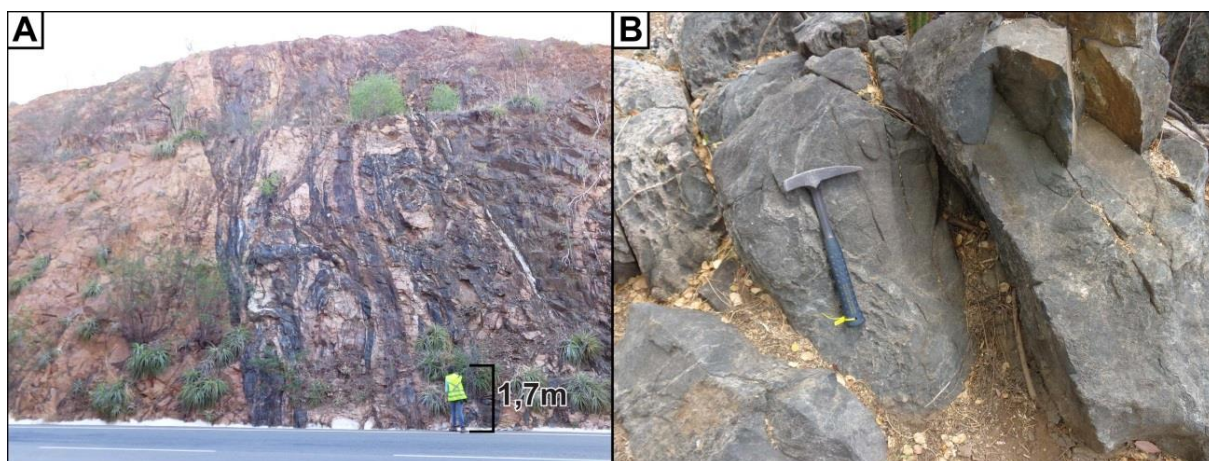


Figura 3. A) Panorama fotográfico do afloramento da Unidade Gentileza na rodovia SE-200, evidenciando as interações entre termo máfico (ortoanfibolito) e félsico (metasienogranito), marcadas por feições mingling com interdigitações complexas, com porções hibridizadas localizadas; B) Afloramento típico da Unidade Gentileza com ortoanfibolito com textura equigranular média.

Figure 3. A) Photographic view of Gentileza Unit outcrop at the SE-200 highway, showing interactions between mafic (ortho-amphibolite) and felsic portions (metasyenogranite), evidenced by mingling with complex interdigitaions and located hybridized portions; B) Typical Gentileza Unit ortho-amphibolite outcrop with medium-grained and equigranular textures.

3.2 Aspectos Petrográficos

3.2.1 Unidade Novo Gosto

O estudo petrográfico revelou que os ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto são compostos por plagioclásio (28,5-39,3 %), hornblenda (35-25 %), biotita (5,5-12,8 %), clorita (7-15,5 %), epídoto (7,5-12 %), sericita (2,5-12,5 %), quartzo (1,5-3 %) e minerais opacos (3-8 %), além de apatita e zircão (<1%). Essas rochas constituem principalmente ortoanfibolitos de granulação equigranular fina, com conteúdos variáveis de clorita, biotita, epídoto, sericita e minerais opacos. Na área estudada, é comum a presença de porções em que a mineralogia de baixo grau metamórfico é dominante (epídoto, sericita e clorita), devido às intensas transformações retrometamórficas sofridas.

O plagioclásio é o mineral mais abundante nas rochas estudadas. Apresenta-se nos interstícios da hornblenda, com formas subidioblásticas a xenoblásticas e dimensões de 0,03 a 0,35 mm. Este mineral possui contatos irregulares (curvos e interlobados) com a hornblenda e minerais opacos, sendo frequentemente observadas transformações parciais para sericita e, por vezes, para epídoto. Feições ígneas reliquias ainda são observadas, localizadamente, em porfiroclastos de plagioclásio, formando texturas blasto-glomeroporfiríticas (Fig. A), com

cristais variando entre 0,5 e 2,0 mm e, ocasionalmente, com zonação preservada, conforme observado na porção inferior esquerda da Fig. 4A. Estes cristais apresentam geminação polissintética do tipo albita, com teor de anortita, estimado pelo método de Michel-Lévy, em torno de 48-52%, sendo classificado como andesina e labradorita. Nessas rochas são também observadas as texturas blasto-ofítica, blasto-subofítica e blasto-integranular (Fig. 4B e D), indicativas de um protólito ígneo máfico.

A hornblenda, segundo mineral mais abundante nestas rochas, ocorre com forma xenoblástica a subidioblástica, com dimensões que variam de 0,05 a 0,4 mm e pleocroísmo em tons esverdeados a amarelados. Este mineral encontra-se frequentemente parcialmente transformado para epídoto, biotita e/ou clorita. Os cristais possuem contatos interlobados e curvos com o plagioclásio, além da presença de inclusões de apatita e minerais opacos. No geral, a orientação deste mineral confere às rochas estudadas a textura nematoblástica (Fig. 4C).

A biotita ocorre com pleocroísmo variando entre o castanho claro e castanho escuro, formas xenoblásticas e granulometria variando entre 0,02 e 0,25 mm. Este mineral ocorre, em algumas porções, substituindo as bordas da hornblenda. Observa-se a presença de minerais opacos inclusos nesta fase mineral ou em contato com os limites dos cristais.

A ocorrência de quartzo é restrita às porções com alterações mais intensas. Nestas, os cristais são xenoblásticos e ocupam os interstícios dos cristais de hornblenda e plagioclásio.

O epídoto ocorre, de forma caótica, disseminado na rocha, associado à clorita e biotita, e substituindo a hornblenda e o plagioclásio. Os cristais variam de subidioblásticos a xenoblásticos, com dimensões inferiores a 0,01, por vezes até 0,3 mm. De forma similar, a sericita ocorre com granulação muito fina, como produto da alteração do plagioclásio.

A clorita ocorre disseminada na rocha, substituindo os cristais de hornblenda da matriz. Esta fase apresenta-se, principalmente, com disposição caótica, com coloração verde claro, com formas xenoblásticas e dimensões variando de 0,01 a 0,1 mm. Nas rochas em que esta fase predomina, a clorita apresenta-se com textura lepidoblástica e formas subidioblásticas a xenoblásticas e dimensões inferiores a 0,1 mm.

Os minerais opacos ocorrem na forma subidioblástica a xenoblástica, com tamanhos em torno de 0,2 a 0,3 mm. Estes se apresentam, preferencialmente, inclusos na hornblenda e biotita.

As fases acessórias, representadas por apatita e zircão, ocorrem disseminadas na rocha. A apatita é comumente idioblástica, enquanto que o zircão é xenoblástico.

A análise microscópica demonstrou que as rochas máficas metamorfozadas da Unidade Novo Gosto possuem uma mineralogia metamórfica da Facies Anfibolito marcada por

hornblenda e plagioclásio, que está em parte, transformada para uma paragênese da Facies Xisto Verde, composta principalmente por clorita, biotita, epídoto e sericita. Essas constatações corroboram com os dados obtidos por Passos (2016), que envolveram estudos geotermobarométricos em rochas dessa unidade.

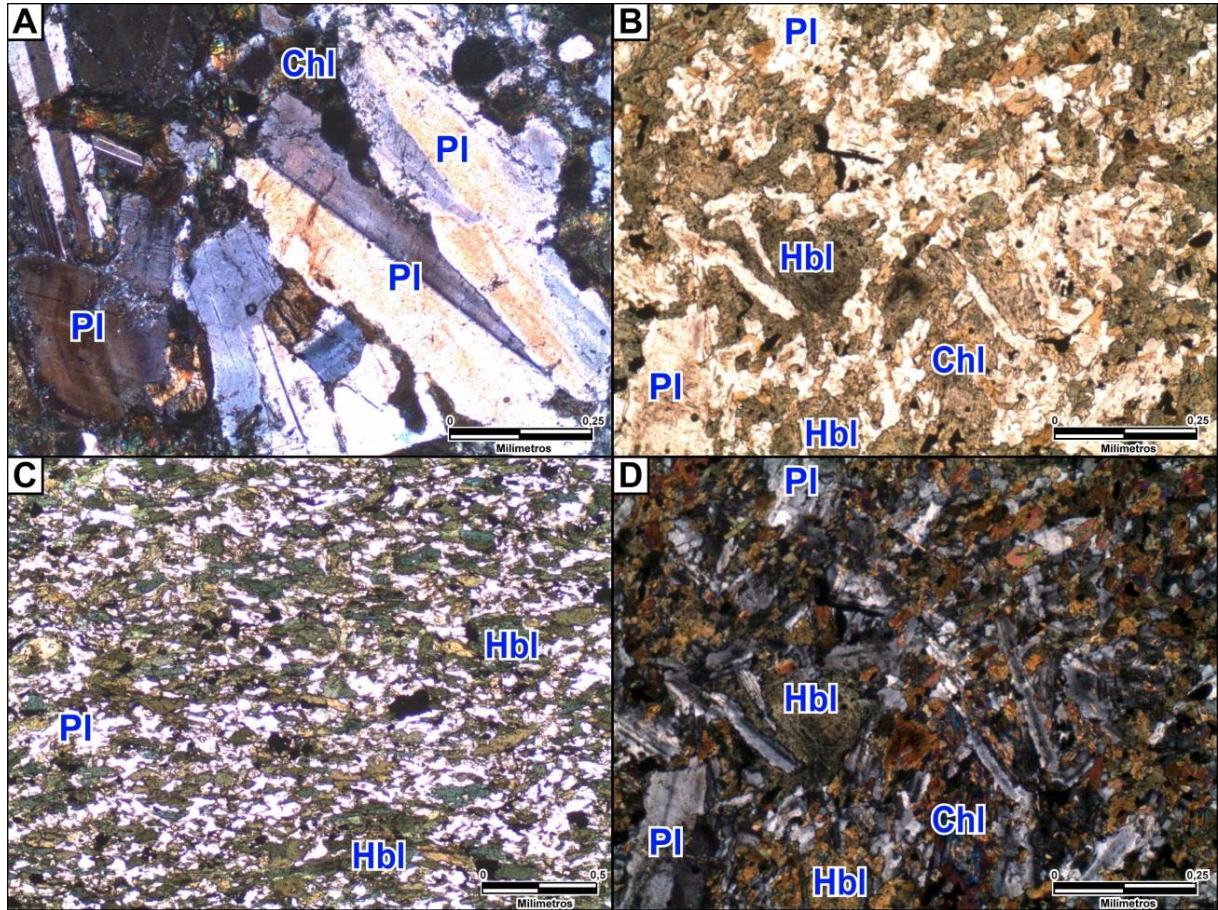


Figura 4. Aspectos microscópicos dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto. A) Textura blasto-glomeroporfirítica de plagioclásio, com a presença de grão zonado na porção inferior esquerda da fotomicrografia (luz polarizada); B e D) Texturas blasto-integrgranular e blasto-subofítica marcadas por cristais ripidiformes de plagioclásio isotrópicos, parcialmente envolvidos por cristais de hornblenda (luz natural e luz polarizada); C) Textura nematoblástica marcada pela orientação dos cristais de hornblenda (luz natural). Siglas: Pl = plagioclásio, Hbl = hornblenda, Chl = clorita (Abreviações conforme Bucher & Grapes, 2011).

Figure 4. Microscopic aspects of Novo Gosto Unit ortho-amfibolites. A) Blasto-glomeroporphyritic texture of plagioclase, with a presence of zoned grain at lower left portion of the photomicrography (polarized light); B and D) Blasto-integrgranular and blasto-subophytic texture marked by ripidiform plagioclase with isotropic orientation, surrounded by hornblende (natural and polarized light); C) Nematoblastic texture marked by the oriented hornblende grains (natural light). Pl = plagioclase, Hbl = hornblende, Chl = chlorite (Abbreviations by Bucher & Grapes, 2011).

3.2.2 Unidade Gentileza

Ao microscópio, os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza são representados por anfibolitos de textura equigranular média a fina, compostos principalmente por hornblenda (27,7-51,2 %) e plagioclásio (33,5-37,5 %), além de biotita (19,5-23,6 %), sericita (0-4,5 %), quartzo (0-2,5 %), clorita (0-2%), titanita (3,3-4,8 %), apatita (1-4,7 %), minerais opacos (0,5-4 %), epídoto (<1%) e zircão (<1%).

A hornblenda, que representa o principal constituinte destas rochas, ocorre subidioblástica e xenoblástica, com dimensões variando entre 0,01 a 4 mm e pleocroísmo variando de castanho a verde oliva. Por vezes, é possível observar a presença da textura nematoblástica, marcada pela orientação da hornblenda, além da textura blasto-subofítica, definida por cristais de hornblenda que envolvem parcialmente cristais de plagioclásio. De forma restrita, a hornblenda aparece substituída por clorita, onde esta fase apresenta coloração verde claro, com formas xenoblásticas.

Os cristais de plagioclásio apresentam formas subidioblástica e xenoblástica, com dimensões que variam de 0,05 a 1,5 mm. Este mineral ocorre nos interstícios da hornblenda, com contatos irregulares com a biotita, sendo comum a presença de sericita como produto de alteração. Feições ígneas reliquias são marcadas por porfiroclastos desta fase, que definem a textura blasto-subofítica, conforme pode ser observado nas figuras 5A e B. Estes cristais apresentam teor de anortita em torno de 36-51%, sendo classificados como andesina a labradorita, de acordo com o Método de Michel-Lévy.

A biotita ocorre com formas idioblásticas a subidioblásticas, com dimensões que variam de 0,03 a 0,8 mm e pleocroísmo amarelo pálido a castanho escuro. Esta fase apresenta-se em equilíbrio com a hornblenda, por vezes, como produto de alteração desta (Fig. 5A e B).

O quartzo ocorre xenoblástico, granulometria variando entre 0,05 e 0,15 mm, e comumente disseminado entre os cristais de plagioclásio. Nesta fase é comum a presença de feições deformacionais de baixa temperatura em rochas próximas a zonas de cisalhamento, tais como extinção ondulante e subgrãos (Fig. 5C e D).

A titanita ocorre, principalmente, como produto da transformação das bordas de minerais opacos xenoblásticos, e menos comumente, como cristais individuais (Fig. 5C e D). Este mineral apresenta formas xenoblásticas e dimensões entre 0,02 e 0,3 mm, enquanto os minerais opacos possuem dimensões de 0,03 a 0,8mm. Estes aparecem inclusos na hornblenda, biotita e plagioclásio.

A apatita ocorre disseminada em toda a rocha, com formas prismáticas e granulometria inferior a 0,2 mm.

Na mineralogia acessória observa-se cristais de epídoto, que ocorre, localizadamente, substituindo parte dos cristais de hornblenda. Esta fase mineral apresenta forma xenoblástica e dimensões que variam de 0,03 a 0,4 mm. Enquanto o zircão apresenta cristais subidioblásticos a xenoblásticos, dimensões de 0,05 e 0,1 mm e feições metamitizadas.

A mineralogia dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza, quando comparados à mineralogia dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto, apresenta-se mais preservada, com maiores volumes de biotita distribuídos em toda a rocha, além de possuírem maiores volumes de minerais acessórios (titanita, apatita e zircão). Entretanto, os ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto apresentam-se mais alterados, com uma maior predominância da mineralogia de mais baixo grau metamórfico, que sugerem o envolvimento de processos hidrotermais intensos.

Os dados petrográficos evidenciam que as rochas máficas metamorfizadas da Unidade Gentileza tiveram uma história polimetamórfica similar às descritas para as rochas da Unidade Novo Gosto, com paragêneses metamórficas de Fácies Anfibolito marcadas por hornblenda \pm plagioclásio, com transformações para a Fácies Xisto Verde, marcadas principalmente por biotita \pm epídoto \pm clorita \pm sericita. A presença de minerais de baixo e médio grau metamórfico, observados nos ortoanfibolitos de ambas as unidades, sugerem que as rochas foram metamorfizadas no Fácies Anfibolito e sofreram processos retrometamórficos do Fácies Xisto Verde.

O estudo mineralógico indica um provável envolvimento de hidrotermalismo, marcado principalmente pela presença de vênulas tardias de calcita e epídoto. Esse processo, possivelmente, foi induzido pela entrada de corpos graníticos tardios e pela percolação de fluidos a partir de zonas de cisalhamento, mostrando-se intensos nas rochas da Unidade Novo Gosto, com a diminuição da granulação e geração de minerais como sericita (alterando parcialmente o plagioclásio), epídoto e clorita (alterando parcialmente a hornblenda).

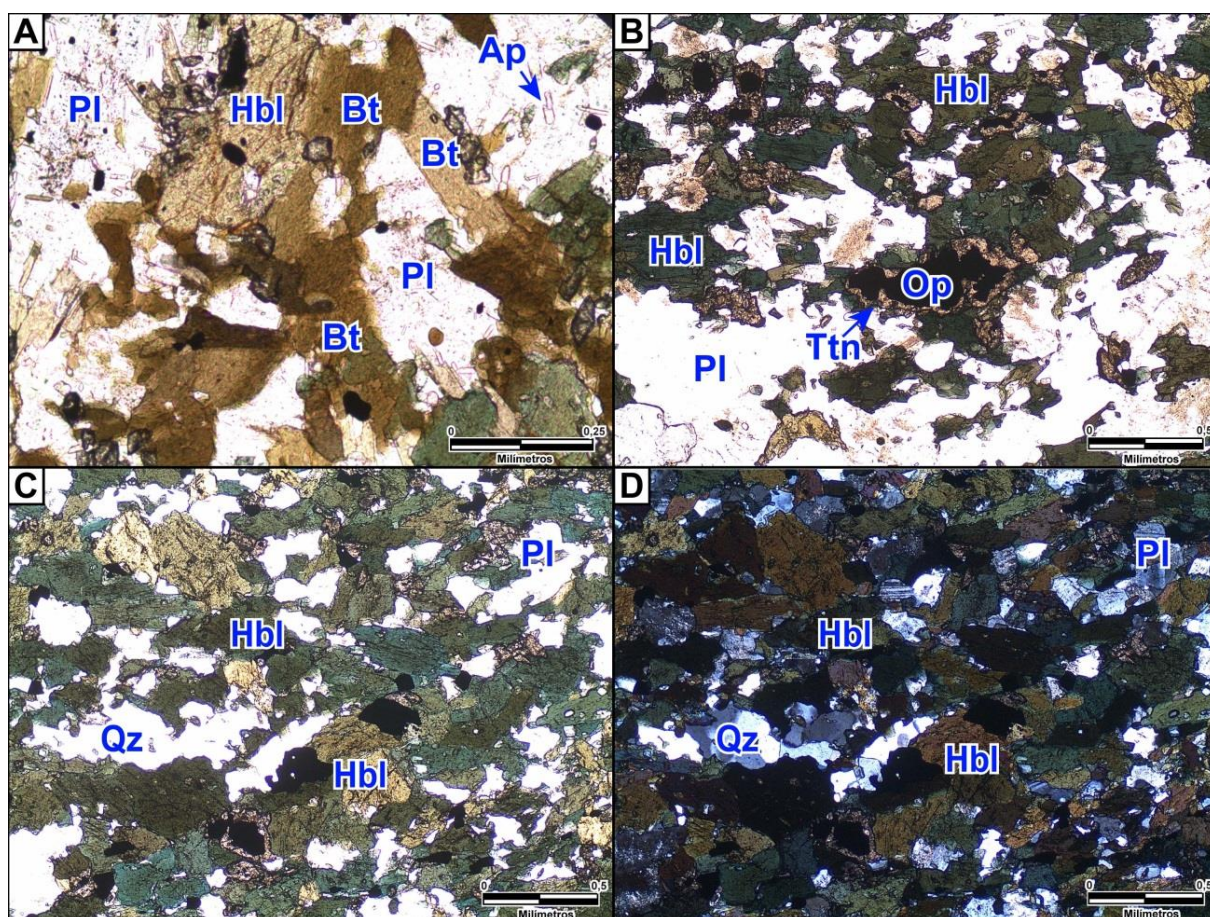


Figura 5. Aspectos microscópicos dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza. A) Detalhe de grão de hornblenda com borda substituída por biotita (luz natural); B) Detalhe de grão de mineral opaco com transformação nas bordas para titanita (luz natural); C e D) Detalhe de textura nematoblástica marcada pela orientação incipiente de cristais de hornblenda e plagioclásio, com presença de subgrãos de quartzo (luz natural e polarizada). Siglas: Pl = plagioclásio, Hbl = hornblenda, Op = minerais opacos, Ttn = titanita, Bt = biotita, Qz = quartzo, Ap = apatita.

Figure 5. Microscopic aspects of Gentileza Unit ortho-amfibolites. A) Detail of hornblende grain showing edge replaced by biotite (natural light); B) Detail of opaque mineral with titanite transformation in the edges (natural light); C and D) Detail of nematoblastic texture marked by incipient orientation of hornblende and plagioclase, with presence of subgrain quartz (natural and polarized light). Pl = plagioclase, Hbl = hornblende, Op = opaque mineral, Ttn = titanite, Bt = biotite, Qz = quartz, Ap = apatite.

3.3 Geoquímica

Neste trabalho foram utilizadas 22 (vinte e duas) análises de rocha total, sendo 11 (onze) geradas neste estudo, representadas pelas iniciais CS e PLJ e outras 11 (onze) obtidas de Nascimento (2005), representadas pelas iniciais CRN (tabela 1). Estes dados geoquímicos foram utilizados com a finalidade de identificar a afinidade e o comportamento geoquímico

dos elementos analisados, investigar os processos magmáticos envolvidos durante a evolução das rochas estudadas, bem como o provável ambiente tectônico, e assim obter subsídios geológicos que possibilitem discutir a possível natureza da fonte.

Devido à presença de anfibolitos com protólitos sedimentares na Unidade Novo Gosto, as comprovações dos protólitos ígneos desta unidade foram obtidas pelas elevadas razões Cr/Th e La/Th, com médias típicas de rochas máficas magmáticas observadas por Rollison (1996), com Cr/Th=204,5 e La/Th=10,33, sendo superiores daquelas observadas em rochas sedimentares típicas (Cr/Th = 7,5 e La/Th = 2,6 - Taylor & McLennan 1985).

3.3.1 Avaliação da Mobilidade dos Elementos

No estudo geoquímico de protólitos ígneos de rochas metamórficas é necessário, primeiramente, avaliar a mobilidade dos elementos, para entender os efeitos das transformações metamórficas sobre as composições geoquímicas. O zircônio em protólitos ígneos máficos é geralmente considerado o elemento mais imóvel durante as alterações hidrotermais e metamorfismo de baixo e médio grau (Pearce & Cann, 1973; Weaver & Tarney, 1981; Sheraton, 1984; Li *et al.*, 2008; Pearce, 2014). Processos de contaminação crustal e mistura de magmas podem interferir na distribuição dos elementos químicos e estes devem ser considerados na avaliação de mobilidade de elementos.

Elementos de diferentes comportamentos geoquímicos, como Nb, Hf, Ta, Y, Ce, Sm, TiO₂, Th, V, Rb, Sr e Ba, foram plotados contra o Zr, para avaliar a mobilidade destes elementos nas amostras das unidades Novo Gosto e Gentileza (Fig. 6). Nestas, os Elementos de Alto Potencial Iônico (HFSEs, como Nb, Hf e Ta) e os Elementos Terras Raras (ETR) apresentam fortes correlações com Zr, sugerindo que estes elementos permaneceram imóveis durante o metamorfismo. Os Elementos Litófilos de Grande Raio Iônico (LILEs), representados por Rb, Sr e Ba, mostram maior dispersão em relação ao Zr, implicando diferentes graus de mobilidade durante o metamorfismo. O Th apresenta uma pequena dispersão, que é interpretada como variações devido aos processos de contaminação crustal.

A partir da avaliação da mobilidade dos LILEs, HFSEs e ETR foi possível identificar os elementos imóveis durante o metamorfismo, e assim selecionar os elementos a serem utilizados na classificação e discussões petrogenéticas.

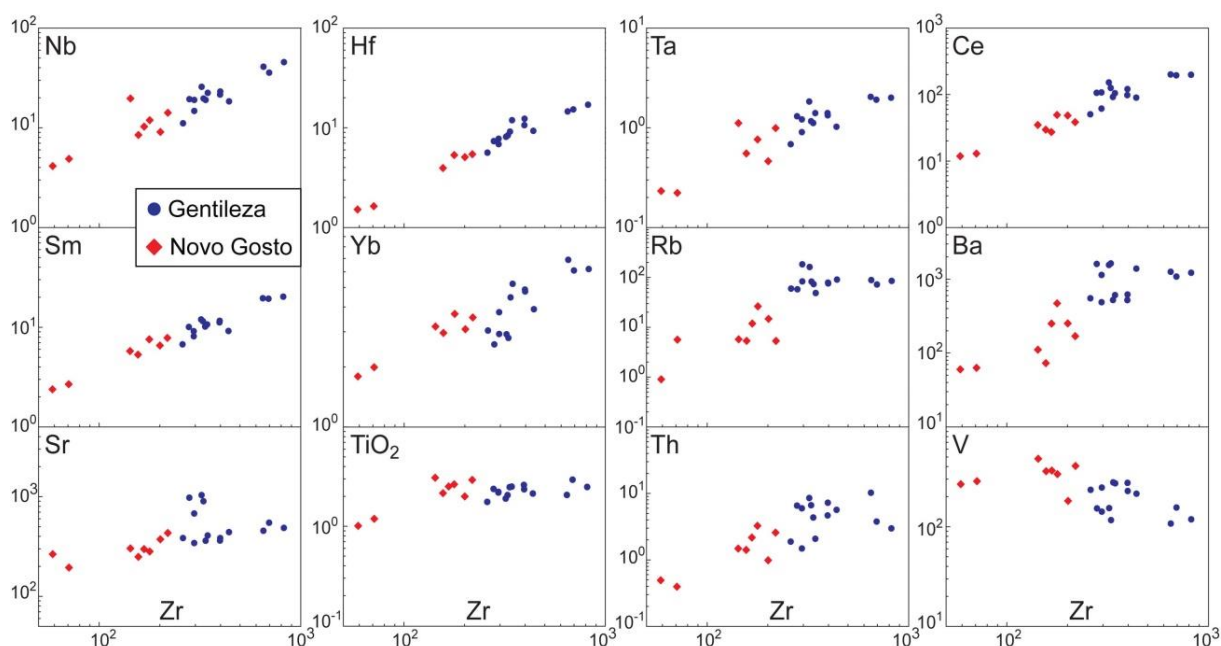


Figura 6. Comparação dos elementos Nb, Hf, Ta, Ce, Sm, Y, Rb, Ba, Sr, Ti, Th e V versus Zr, para avaliação da mobilidade desses elementos nos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Figure 6. Nb, Hf, Ta, Ce, Sm, Y, Rb, Ba, Sr, Ti, Th and V elements versus Zr plots to evaluate the elements mobility in ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units.

3.3.2 Geoquímica da Unidade Gentileza

Para avaliar o comportamento geoquímico dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza, as amostras foram representadas em diagramas geoquímicos de classificação e nomenclatura de rocha. Os dados geoquímicos utilizados nestes diagramas são apresentados na Tabela 1, sendo as iniciais CRN representantes das análises realizadas por Nascimento (2005), enquanto que as iniciais CS e PL representam os pontos de coleta e análise realizadas neste trabalho.

Tabela 1. Composições químicas de elementos maiores, menores, traços e terras raras de amostras representativas das unidades Novo Gosto e Gentileza, no Domínio Canindé. Abreviação: P.F.= Perda ao fogo; n.d.= Não determinado.

Table 1. Chemical compositions of major, minor, trace elements and rare earth elements of representative samples of Novo Gosto and Gentileza units in Canindé Domain. Abbreviation: P.F.= Loss on ignition; n.d.= not determined.

	Unidade Novo Gosto								Unidade Gentileza		
	CS-05A	CS-08	CS-10A	CS-013	CS-014	CRN-88a	CRN-88b	CRN-272a	CS-01	CS-03	CS-018
SiO ₂ (%)	50,38	54,02	51,13	51,43	50,64	50,03	49,56	46,40	53,77	56,04	52,82
TiO ₂	3,09	2,65	2,00	1,01	1,19	2,94	2,52	2,16	2,38	2,06	2,14
Al ₂ O ₂	12,29	13,44	16,19	13,97	14,37	14,12	15,16	15,28	14,65	15,05	15,60
Fe ₂ O ₂	15,43	14,32	11,37	11,94	12,75	13,94	13,39	14,51	10,51	9,65	10,78
MnO	0,31	0,25	0,19	0,23	0,22	0,24	0,22	0,21	0,15	0,15	0,19
MgO	6,84	4,51	7,77	7,58	7,43	5,73	6,36	7,90	4,44	3,99	5,47
CaO	9,07	7,77	9,61	13,34	10,98	8,55	7,90	8,24	5,91	5,22	7,07
Na ₂ O	1,69	2,39	2,91	0,99	2,68	3,65	3,73	3,57	3,80	3,54	3,17
K ₂ O	0,19	1,17	0,76	0,12	0,22	0,45	0,62	0,18	2,70	3,17	2,39
P ₂ O ₅	0,28	0,49	0,49	<0,01	<0,01	0,35	0,29	0,24	0,81	0,96	0,46
Cr ₂ O ₃	0,03	<0,01	0,03	0,04	0,03	n.d	n.d	n.d	0,02	<0,01	0,01
P.F.	2,83	1,66	0,88	0,68	0,59	0,20	0,69	1,39	0,88	2,23	1,93
Total	102,42	102,68	103,31	101,28	101,09	100,20	100,44	100,10	100,02	102,06	102,01
Ba (ppm)	111	471	252	60	63	169	250	73	1604	1627	1386
Rb	5,70	26,10	14,70	0,90	5,60	5,30	11,80	5,31	57,30	81,80	89,60
Sr	304	283	375	266	195	434	299	250	981	903	442
Th	1,50	3,30	1,00	0,50	0,40	2,60	2,20	1,43	6,60	6,70	5,70
U	0,43	1,00	0,44	0,15	0,13	0,77	2,00	0,38	1,31	1,46	1,65
Zr	143	178	201	59	71	219	167	156	280	329	440
Hf	4,14	5,30	5,06	1,51	1,63	5,41	n.d	3,93	7,29	8,32	9,24
Nb	19,79	11,95	9,10	4,13	4,88	14,20	10,30	8,50	19,43	19,73	18,48
Y	29,09	34,97	29,32	17,15	17,59	43,00	40,00	31,63	26,83	30,27	37,56
Ta	1,11	0,76	0,46	0,23	0,22	0,99	n.d	0,55	1,30	1,16	1,02
Cr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	121	190	319	n.d	n.d	n.d
Ni	64	24	119	127	115	42	62	47	79	59	74
V	479	336	181	266	285	406	365	359	152	116	213
La	17,10	24,00	22,40	6,90	5,30	18,90	6,00	11,70	49,90	58,10	46,80
Ce	34,50	48,80	47,90	11,70	12,80	38,00	27,00	29,34	104,60	123,80	88,60
Pr	4,55	6,42	6,34	1,72	1,95	6,72	n.d	4,04	12,84	14,74	11,08
Nd	22,20	30,90	29,10	8,60	9,40	27,00	19,00	19,49	54,70	62,80	44,50
Sm	5,80	7,60	6,60	2,40	2,70	7,87	n.d	5,35	10,10	11,50	9,20
Eu	1,84	2,49	2,09	0,96	0,97	2,36	n.d	1,90	2,96	3,19	2,57
Gd	6,52	8,60	7,26	2,99	3,16	8,25	n.d	6,00	8,92	10,31	9,33
Tb	1,00	1,25	1,07	0,48	0,56	1,33	n.d	1,01	1,14	1,29	1,40
Dy	6,45	7,79	6,46	3,27	3,50	7,41	n.d	5,78	6,26	6,89	7,63
Ho	1,20	1,44	1,20	0,69	0,77	1,58	n.d	1,25	1,07	1,20	1,53
Er	3,57	4,22	3,53	2,11	2,13	4,14	n.d	3,30	3,00	3,34	4,21
Yb	3,20	3,70	3,10	1,80	2,00	3,55	n.d	2,97	2,60	2,80	3,90
Lu	0,45	0,52	0,43	0,32	0,33	0,54	n.d	0,44	0,34	0,38	0,56

Continuação...

Unidade Gentileza											
	PLJ-022B	PLJ-022C	CS-11	CRN-31a	CRN-201a	CRN-220a	CRN-225a	CRN-251b	CRN-253b	CRN-254a	CRN-265
SiO ₂ (%)	57,19	50,32	49,79	54,81	48,38	51,43	48,82	49,75	49,46	49,35	48,74
TiO ₂	2,07	2,49	2,95	1,90	1,76	2,36	2,48	2,22	2,51	2,19	2,61
Al ₂ O ₃	14,95	15,14	14,42	14,94	16,30	14,68	14,34	15,36	15,18	15,21	14,85
Fe ₂ O ₃	10,45	11,80	12,66	9,38	10,67	11,53	13,03	12,03	12,52	11,92	13,24
MnO	0,18	0,21	0,24	0,15	0,19	0,18	0,20	0,18	0,19	0,18	0,19
MgO	2,54	3,07	4,15	3,89	7,29	4,86	6,41	6,10	5,20	6,04	5,68
CaO	5,04	5,86	6,98	5,58	8,68	7,36	8,38	8,13	8,37	8,07	7,64
Na ₂ O	3,71	3,62	3,84	3,91	2,68	3,86	3,17	3,18	3,41	3,16	3,12
K ₂ O	2,86	2,69	2,41	3,28	2,48	1,99	1,81	1,79	1,60	1,78	2,04
P ₂ O ₅	0,97	1,13	1,75	0,83	0,36	0,65	0,56	0,42	0,62	0,42	0,61
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
P.F	0,64	0,40	0,62	0,32	1,52	0,79	0,79	1,06	0,58	1,40	1,16
Total	100,58	96,72	99,81	98,99	100,31	99,69	99,99	100,22	99,64	99,71	99,88
Ba(ppm)	1254	1218	1079	1554	549	617	521	486	607	1137	519
Rb	87,70	84,30	71,50	160,00	59,00	75,00	72,78	82,54	48,15	181,67	77,58
Sr	456	487	550	1040	385	385	362	343	409	680	364
Th	10,30	3,00	3,80	8,60	1,90	7,30	4,38	1,50	2,10	6,02	4,71
U	2,30	0,99	1,30	4,90	0,71	1,96	1,39	1,12	1,77	2,28	1,28
Zr	651	822	695	322	260	398	337	296	345	296	397
Hf	14,47	16,90	15,15	8,06	5,59	12,23	9,08	7,71	11,83	6,80	10,54
Nb	41,20	45,80	35,94	25,88	11,11	23,21	19,10	14,80	22,48	19,08	21,61
Y	69,27	67,51	62,40	32,00	31,00	51,27	46,29	39,40	53,32	32,67	51,83
Ta	2,04	2,00	1,91	1,83	0,68	1,33	1,11	0,90	1,40	1,21	1,40
Cr	n.d	n.d	n.d	105	23	89	53	18	26	73	57
Ni	9	11	12	39	78	23	57	67	29	147	47
V	107	118	155	153	233	227	277	246	271	141	274
Cu	20	21	26	37	24	38	44	46	36	59	44
La	89,80	86,70	86,60	69,09	29,00	48,00	42,00	24,00	35,63	43,37	37,00
Ce	197,10	195,20	191,4	149,77	49,74	119,04	90,61	60,52	103,00	105,80	96,42
Pr	24,51	25,22	23,21	18,04	7,18	14,46	11,40	8,55	11,81	12,88	12,33
Nd	98,50	103,50	99,30	69,66	30,72	57,43	47,67	36,46	49,04	50,41	51,62
Sm	19,60	20,30	19,40	12,02	6,76	11,65	10,20	8,15	10,70	9,17	11,23
Eu	4,28	4,60	4,98	3,23	2,03	3,05	2,92	2,53	2,99	2,28	3,05
Gd	17,46	18,95	18,09	9,05	6,68	11,05	10,11	8,22	10,65	7,35	10,89
Tb	2,59	2,62	2,48	1,28	1,04	1,69	1,56	1,30	1,71	1,10	1,72
Dy	14,59	14,68	13,93	6,73	5,89	9,45	8,75	7,29	9,61	6,04	9,59
Ho	2,73	2,78	2,45	1,29	1,25	1,95	1,84	1,54	2,06	1,21	2,03
Er	7,76	7,35	7,14	3,39	3,33	5,25	4,87	4,11	5,54	3,24	5,37
Yb	6,90	6,20	6,10	2,92	3,05	4,79	4,47	3,77	5,23	2,93	4,89
Lu	0,97	0,89	0,87	0,45	0,46	0,72	0,67	0,57	0,78	0,44	0,73

No diagrama de classificação Nb/Y vs Zr/Ti (Pearce, 1996), o protólito dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza correspondem, em grande maioria, a andesito e andesito basáltico, com exceção de duas amostras (CRN-31A e CS-01), as quais ocupam os campos do traquiandesito e de álcali-basalto, respectivamente (Fig. 7).

No diagrama ternário de Jensen (1976), que relaciona (FeO+Fe₂O₃+TiO₂) - Al₂O₃ - MgO, as amostras ocupam principalmente o campo de basaltos toleíticos alto-Fe, com apenas três amostras (CS-01, CS-03, CRN-31A) no campo de basaltos cálcio-alcálicos (Fig. 8). A

presença de quartzo e hiperstênio normativos na maioria das amostras, com exceção da amostra CRN-201, que apresenta hiperstênio e olivina normativos, corroborando com a afinidade toleítica das rochas e o caráter predominantemente supersaturado em sílica. A condição evoluída dessas rochas é sugerida pelos valores de MgO que variam de 2,54% a 7,29% e pelos teores de SiO₂ que apresentam um range de 48,3% a 57,19%.

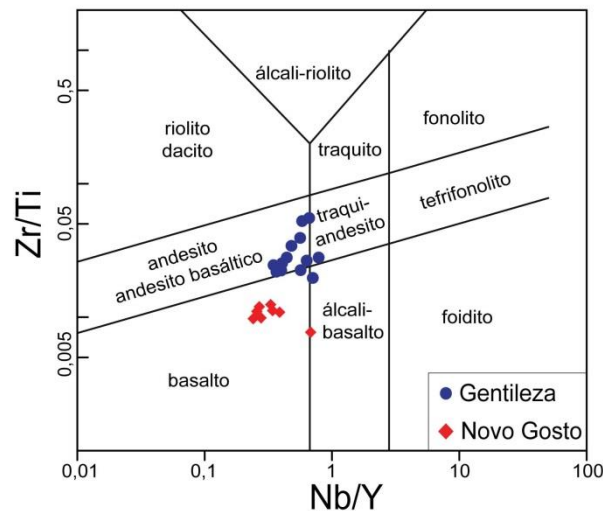


Figura 7. Diagrama de classificação Zr/Ti versus Nb/Y (Pearce, 1996) para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Figure 7. Zr/Ti versus Nb/Y plot (Pearce, 1996) to ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units.

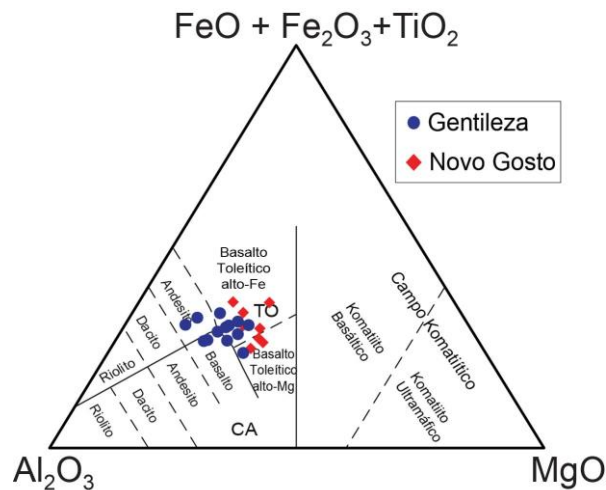


Figura 8: Diagrama de classificação de Jensen (1976) para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Figure 8. Classification diagram from the Jensen (1976) of the ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units.

Para identificar o comportamento dos elementos maiores e traço com a evolução do magmatismo, foram confeccionados diagramas binários utilizando o MgO como índice de

diferenciação (Fig. 9 e 10). Nestes, observa-se que os teores de SiO_2 , Na_2O , K_2O e P_2O_5 nas amostras da Unidade Gentileza aumentam à medida que o magma é fracionado, enquanto que os elementos Al_2O_3 e CaO apresentam tendência ao empobrecimento (Fig. 9). Os óxidos FeOt e TiO_2 apresentam um comportamento de enriquecimento até cerca de 5,5% de MgO , seguido de empobrecimento. Estes padrões refletem o fracionamento de minerais como olivina, clinopiroxênio e plagioclásio, com fracionamento mais efetivo de óxidos de Fe e Ti nas rochas mais diferenciadas.

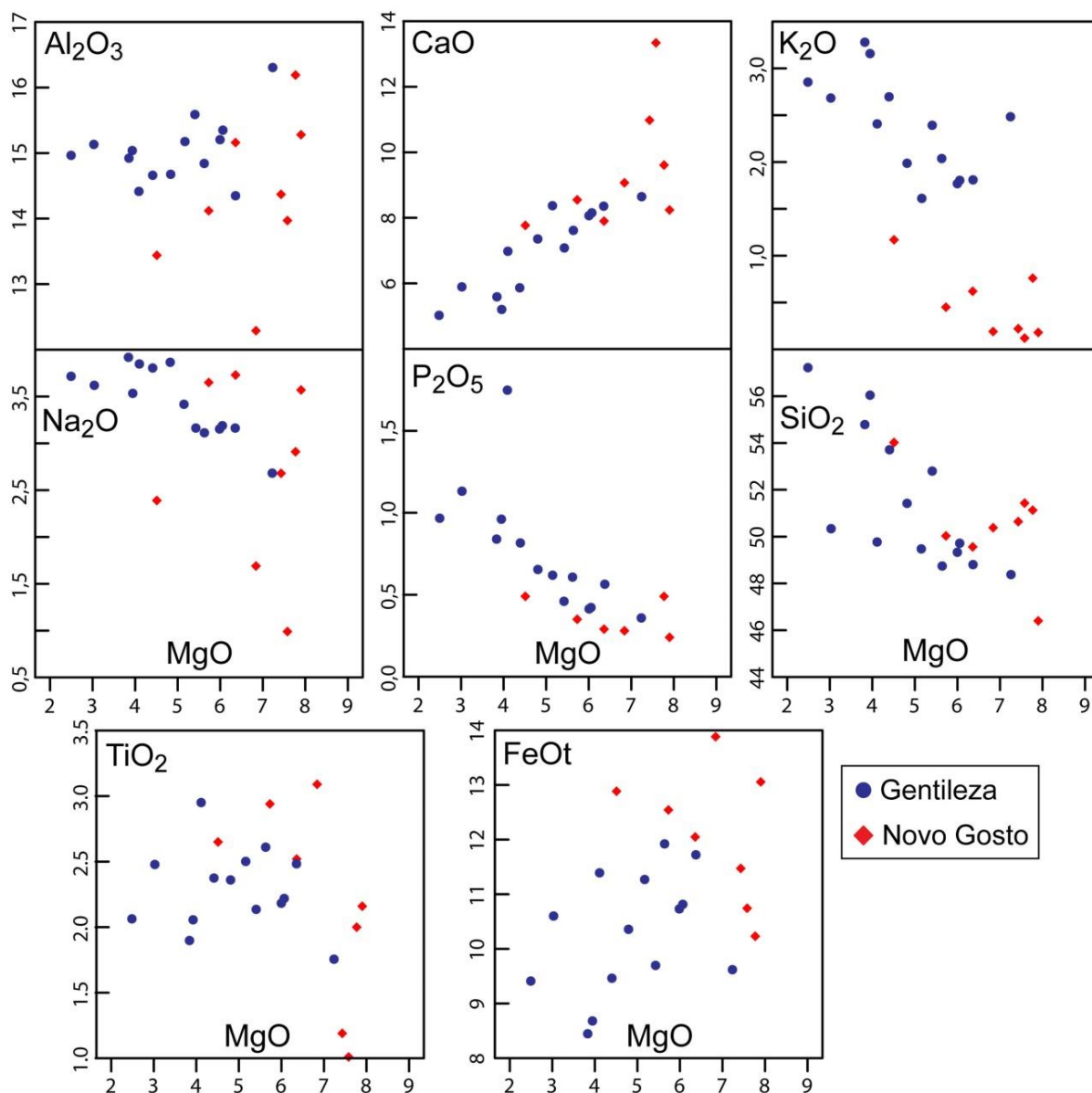


Figura 9. Diagramas binários de variação de elementos maiores (percentagem de peso) *versus* o MgO (percentagem de peso), para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.
Figure 9. Major elements (wt%) versus MgO (wt%) variation diagrams to ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units.

No estudo do comportamento dos elementos-traço (Fig. 10) foi possível observar que o Cr, que possui elevado coeficiente de partição em clinopiroxênio, apresenta um padrão de enriquecimento com o aumento do índice de diferenciação, enquanto que o Ni apresenta empobrecimento. Estes padrões sugerem que, durante a evolução magmática das rochas, o fracionamento de olivina foi mais efetivo do que o de clinopiroxênio. Os demais elementos-traço apresentam um *trend* de enriquecimento, sugerindo um padrão típico de elementos incompatíveis. O comportamento nos padrões do Sr, sugere que houve pouco fracionamento de plagioclásio (Fig. 10).

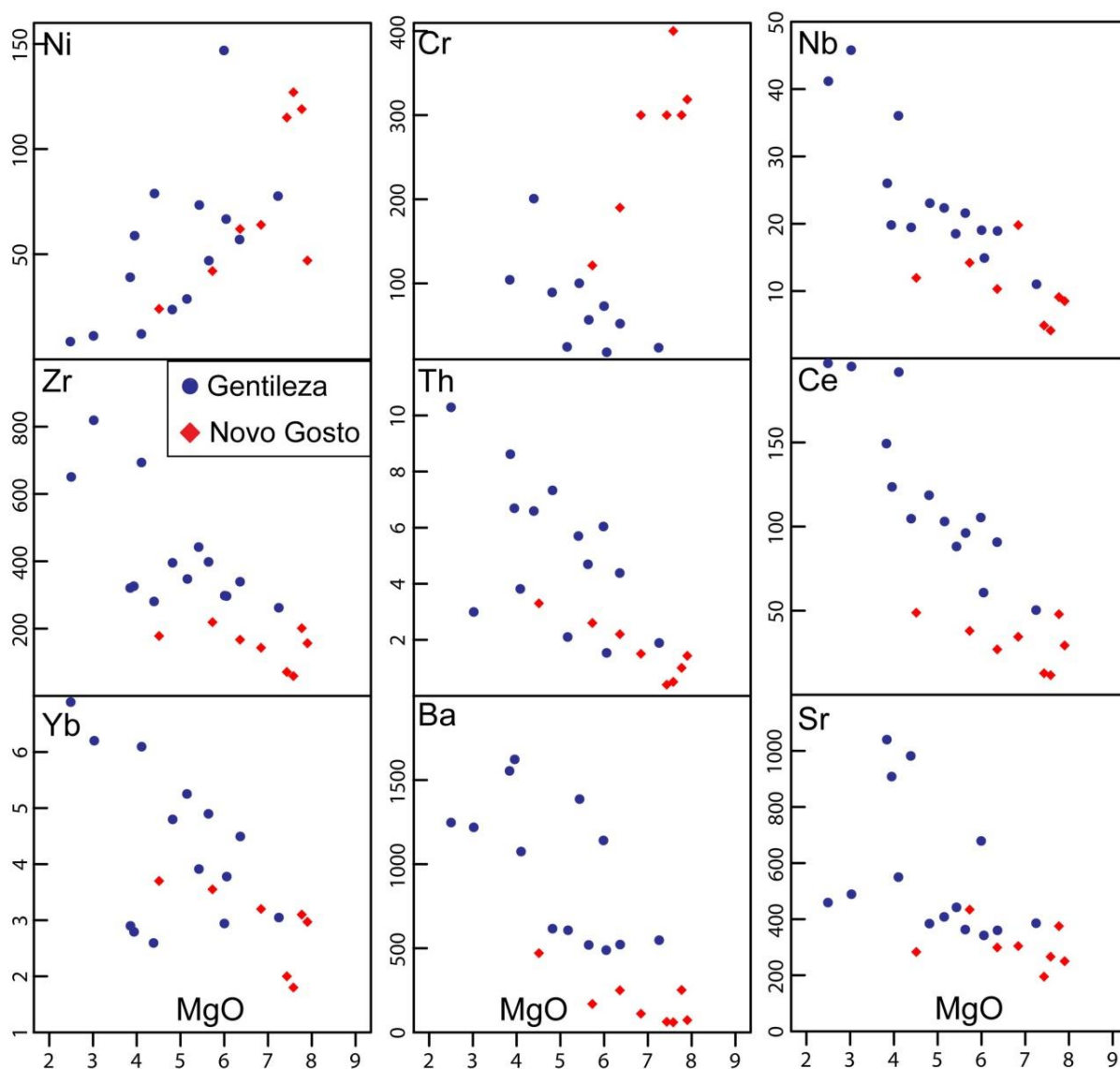


Figura 10. Diagramas de variação de elementos-traço (ppm) *versus* MgO (%), para os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Figure 10 – Trace elements (ppm) versus MgO (wt%) variation diagrams to orthoamphibolites of Novo Gosto and Gentileza units.

Os padrões geoquímicos resultantes da composição média de ETR normalizados pelo Condrito C1 (McDonough & Sun, 1995) (Fig. 11A) mostra altas concentrações de ETR ($\Sigma\text{ETR} = 147,62 - 490,01$ ppm), com moderado a elevado enriquecimento em ETR leves em relação aos ETR pesados ($\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 4,32 - 16,07$), bem como leves a moderados fracionamentos em ETR leves ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N} = 1,84 - 3,59$) e em ETR pesados ($\text{Gd}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 1,65 - 2,98$). A leve anomalia negativa de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,69$ a $0,93$) sugere que houve pouco fracionamento de plagioclásio ao longo da evolução magmática.

No diagrama multi-elementar de elementos-traço normalizado para o manto primitivo (McDonough & Sun, 1995) (Fig. 11B), as amostras da Unidade Gentileza apresentam um padrão de enriquecimento em elementos incompatíveis de Lu em direção ao Th, com destacadas anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P, presentes na maioria das amostras.

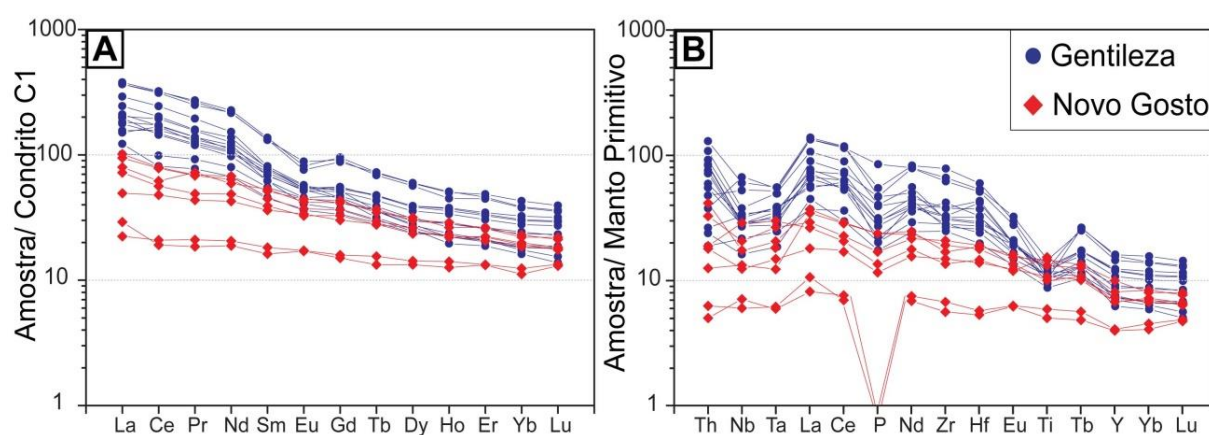


Figura 11. Padrões de abundância dos elementos terras raras e elementos-traço dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza. (A) Diagrama de elementos terras raras normalizados pelo Condrito C1 e (B) Diagrama multi-elementar de elementos-traço normalizado pelo Manto Primitivo. Os padrões de normalização são de McDonough & Sun (1995).

Figure 11. (A) Chondrite-normalized rare earth elements diagram and (B) spiderdiagram of incompatible elements normalized by primitive-mantle to ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units. McDonough & Sun (1995) normalization values.

3.3.3 Geoquímica da Unidade Novo Gosto

Os resultados analíticos dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto são apresentados na Tabela 1. O protólito dessas rochas, no diagrama Nb/Y vs. Zr/Ti (Pearce, 1996), corresponde a basaltos subalcalinos (Fig. 7), enquanto que no diagrama ternário de Jensen (1976) as amostras ocupam o campo de basaltos toleíticos alto-Fe e alto-Mg (Fig. 8). A afinidade toleítica dessas rochas é atestada pela presença, na maioria das amostras, de quartzo e hiperstênio normativos, que confere o caráter supersaturado em sílica, e de olivina e

hiperstênio normativos na amostra CRN-272, que indica o caráter saturado em sílica. Estas rochas são levemente evoluídas, com 45,2 a 54% de SiO_2 e 4,51 a 8,16% de MgO . A partir dos padrões de distribuição dos elementos maiores, menores e traços *versus* o índice de diferenciação (MgO), identifica-se uma tendência de enriquecimento seguido de empobrecimento nos conteúdos de CaO e Al_2O_3 com o decréscimo dos conteúdos de MgO , acompanhados pelo aumento, de forma dispersa, dos conteúdos de FeO , TiO_2 , SiO_2 , K_2O e Na_2O (Fig. 9). Estes padrões são comuns em sistemas evoluídos a partir de cristalização fracionada, envolvendo principalmente, o fracionamento de clinopiroxênio e plagioclásio. O P_2O_5 apresenta uma leve correlação negativa com o MgO , sugerindo que não houve fracionamento efetivo de apatita no decorrer da evolução magmática. Os elementos Ni e Cr mostram uma redução dos teores com o declínio do MgO (Fig. 10), indicando o fracionamento de olivina e clinopiroxênio. Os demais elementos-traço e ETR mostram um aumento dos teores com o decréscimo do MgO , sugerindo um padrão típico de elementos incompatíveis.

Os padrões de ETR das amostras da Unidade Novo Gosto normalizados pelo Condrito C1 (McDonough & Sun, 1995) são apresentados na figura 11A. Esses padrões mostram moderadas concentrações de ETR ($\sum \text{ETR} = 44,23 - 148,29$ ppm), com fraco a moderado enriquecimento em ETR leves em relação a ETR pesados ($\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 1,8 - 4,91$), bem como leves fracionamentos em ETR leves ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N} = 1,23 - 2,27$) e em ETR pesados ($\text{Eu}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 1,39 - 1,93$). Anomalias de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,89 - 1,09$) próximas da unidade sugerem que o fracionamento de plagioclásio não foi efetivo.

No diagrama de elementos-traço normalizado pelo manto primitivo (McDonough & Sun, 1995), os elementos apresentam um padrão levemente inclinado entre Lu e Th, exceto para moderadas anomalias negativas em Nb, Ta, P e Ti, presentes na maioria das amostras (Fig. 11B). Observa-se que duas amostras (CS-013 e CS-014) destoam do padrão geral, apresentando padrões relativamente planos e empobrecidos em elementos-traço e ETR, com forte anomalia negativa de P. Portanto, apesar do número reduzido de amostras, os dados geoquímicos dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto sugerem a existência de dois grupos de protólitos ígneos, que podem ser separados por características geoquímicas distintas: O primeiro grupo, denominado de alto-Ti, que prevalece na área estudada, caracterizado por conteúdos mais elevados de TiO_2 (2% – 3,09%) e P_2O_5 (0,24% a 0,49%), que são acompanhados por maiores concentrações de HFSE ($\text{Zr} = 132 - 219$, $\text{Nb} = 8,50 - 19,79$, $\text{Hf} = 3,93 - 5,41$ e $\text{Ta} = 0,46 - 1,11$) e $\sum \text{ETR}$ (52 – 148,29). O segundo grupo, denominado de baixo-Ti, ocorre somente no extremo oeste da área, e é caracterizado por baixos conteúdos de

TiO₂ (1,01% – 1,19%), P₂O₅ < 0,01%, HFSE (Zr = 59 – 71, Nb= 4,13 – 4,88, Hf= 1,51 – 1,63 e Ta= 0,22 – 0,23) e Σ ETR (44,23 – 45,86).

4. Discussões dos Resultados

4.1 Relações petrogenéticas e suas implicações no ambiente tectônico

Para entender os processos petrogenéticos e ambiente tectônico envolvidos na geração dos protólitos ígneos dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, inicialmente, foram comparadas as afinidades geoquímicas e teores de elementos químicos entre essas unidades. Tendo em vista que, trabalhos anteriormente desenvolvidos para as rochas dessas unidades, sugerirem diferentes ambientes tectônicos, tais como tipo arco (Jardim de Sá *et al.*, 1986; Trompette, 1994; Silva Filho, 1998) ou rifteamento continental (Oliveira & Tarney, 1990; Bezerra, 1992; Seixas & Moraes, 2000; Nascimento, 2005; Oliveira *et. al.*, 2010), foi escolhida uma sequência de diagramas discriminantes que possibilita distinguir com maior segurança os dois ambientes, além de permitir o reconhecimento de assinaturas das fontes envolvidas. Por fim, foram efetuadas comparações dessas rochas, em diagrama multi-elementar, com basaltos de cordilheira meso-oceânica (N-MORB), basaltos de cordilheira meso-oceânica enriquecidos (E-MORB), basaltos de ilha oceânica (OIB) (Sun & McDonough, 1989) e rochas de ambientes de rifte continental e de arco de ilha.

Na comparação dos dados químicos, observa-se que os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza são mais diferenciados que os da Unidade Novo Gosto e possuem afinidade toleítica com tendência à cálcio-alcalina, com distribuição da maioria dos elementos maiores e traço, frente aos valores do índice de diferenciação, sugestivos de evolução por cristalização fracionada em ambas as unidades. O protólito das rochas da Unidade Gentileza corresponde a composições equivalentes a andesitos e andesitos basálticos, enquanto as rochas da Unidade Novo Gosto correspondem a basaltos (Fig. 7).

Apesar das semelhanças, os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza apresentam-se em média, 1,5 a 3 vezes mais enriquecidos em LILE, HFSE e ETR que os valores dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto, com exceção do Ti, cujos teores são semelhantes aos do grupo alto-Ti da Unidade Novo Gosto. Estas características geoquímicas foram observadas por Oliveira & Tarney (1990), que sugeriram derivações de fontes distintas do manto para os magmas que geraram os protólitos ígneos dessas unidades. No entanto, ambas as unidades apresentam algumas características geoquímicas semelhantes, como é o caso das assinaturas com anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P, e padrões de enriquecimento de ETRL em relação

aos ETRP (Figs. 11A e 11B). Anomalias negativas de Nb, Ta e Ti são características de basaltos de arcos vulcânicos, geradas a partir do fracionamento destes elementos em relação aos elementos Th e ETRL, durante a desidratação e fusão parcial da crosta subductada, sendo o Th e os ETRL transferidos desta para a cunha do manto, enquanto que o Nb, Ta e Ti não são transferidos às fases fluídas, ficando insolúveis e retidos na placa subductada (Wilson, 1989; Pearce, 1996; Condie, 2001). Todavia, anomalias negativas de Nb, Ta e Ti são também observadas em basaltos continentais, denominados de basaltos continentais semelhantes a arco (*arc-like continental basalts*), atribuídos a fusões parciais de manto sublitosférico modificado por subducção prévia (Hawkesworth *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2014), à contaminação de magmas derivados da astenosfera, por componentes litosféricos (Xia, 2014) ou pela fusão parcial de manto sublitosférico modificado por fluidos gerados da desidratação da zona de transição do manto, entre 410 e 660 km de profundidade (Wang *et al.*, 2015, 2016).

Na determinação do ambiente tectônico em que foram gerados os protólitos dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, os dados geoquímicos das rochas estudadas foram inicialmente plotados no diagrama Zr vs. Zr/Y (Pearce & Norry, 1979) (Fig. 12A). Neste diagrama, as rochas ocupam principalmente o campo de basaltos intraplaca (WPB), devido aos altos teores e razões de Zr e Zr/Y, respectivamente. Da mesma forma, quando plotadas no diagrama Zr vs. Ti (Pearce, 1996), devido aos altos valores de Zr e Ti, as amostras, em sua maioria, ocupam o campo de basaltos intraplaca, com exceção das duas amostras da Unidade Novo Gosto (CS-013 e CS-014), que possuem baixos teores de Ti e plotam no campo de basaltos de arco vulcânico (VAB) (Fig. 12B).

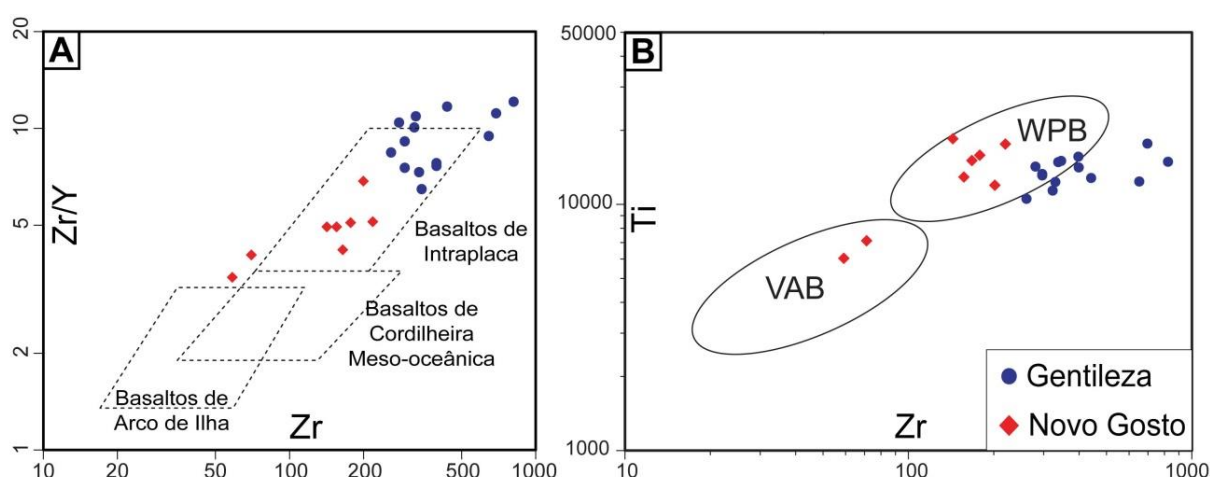


Figura 12. Diagramas de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das Unidades Novo Gosto e Gentileza. A) Zr versus Z/Y (Pearce & Norry, 1979); B) Ti versus Zr (Pearce, 1996). Abreviações: VAB- Basalto de arco vulcanico; WPB- basalto intraplaca.

Figure 12. Tectonic discriminant diagrams applied to ortho-amphibolitic rocks of Novo Gosto and Gentileza units. A) Zr versus Z / Y (Pearce and Norry, 1979); B) Ti versus Zr (Pearce, 1996). Abbreviations: VAB- Basalt Volcanic Arc; WPB- Within Plate Basalts.

No diagrama ternário V-Ti-Sm (Vermeesch, 2006), os ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza ocupam os campos de MORB e OIB, respectivamente (Fig. 13A). Este diagrama apresenta grande eficiência em separar rochas básicas de ambiente intraplaca derivadas de fontes mais empobrecidas, similares ao MORB, ou enriquecidas, similares a OIB, daquelas relacionadas com ambientes tipo arco. Os resultados observados no diagrama são compatíveis com a hipótese de geração dos protólitos ígneos em ambiente intraplaca, envolvendo a participação de duas fontes mantélicas, uma mais empobrecida para os protólitos ígneos da Unidade Novo Gosto e outra mais enriquecida, para os protólitos ígneos da Unidade Gentileza.

Recentemente, Wang *et al.* (2016) propuseram um diagrama ternário baseado em razões de elementos-traço, Ti/V, Zr/Sm e Sr/Nd, para distinguir basaltos de ambiente de arco dos basaltos continentais similares a arco (Fig. 13B). Neste, os basaltos continentais definem um *trend* ao longo do limite Ti/V – Zr/Sm, enquanto os basaltos de arco definem um *trend* marcado pelo enriquecimento em Sr, que é quase perpendicular ao *trend* dos basaltos continentais. Neste diagrama, observa-se claramente que as amostras das unidades estudadas formam um *trend* típico de basaltos continentais, com exceção das duas amostras baixo-Ti da Unidade Novo Gosto, que se deslocam em direção ao *trend* de arco.

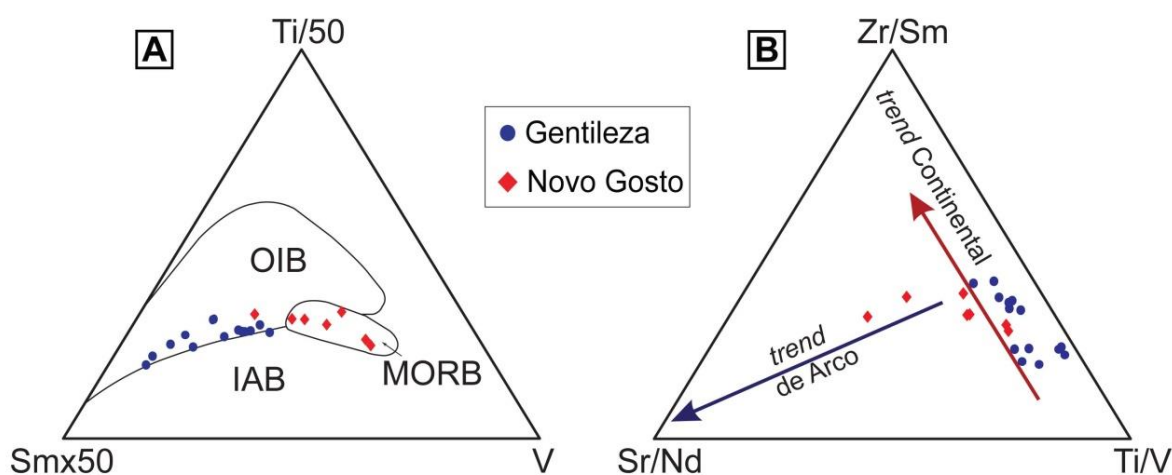


Figura 13. Diagramas ternários de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das unidades Novo Gosto e Gentileza. A) V-Ti-Sm (Vermeesch, 2006); B) Ti/V–Zr/Sm–Sr/Nd (Wang *et al.*, 2016). Abreviações: MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica; OIB - basaltos de ilha oceânica; IAB- basaltos de arco de ilha.

Figure 13. Ternary tectonic discrimination diagrams to ortho-amphibolitic rocks of Novo Gosto and Gentileza units. A) V-Ti-Sm plot (Vermeesch, 2006); B) Ti/V-Zr/Sm-Sr/Nd plot

(Wang *et al.*, 2016). Abbreviations: MORB- mid-ocean ridge basalts; OIB- ocean island basalts; IAB- island arc basalts.

Com o objetivo de identificar as possíveis fontes envolvidas na geração dos protólitos dos ortoanfibólitos, bem como distinguir os efeitos da contaminação crustal daqueles que envolve assinaturas de subducção, utilizou-se o diagrama binário Nb/Yb *vs.* Th/Yb de Pearce (2008) (Fig. 14A). A razão Nb/Yb varia em função dos diferentes tipos de fonte e de graus de fusão, enquanto a razão Th/Yb é sensível aos efeitos de contaminação crustal e aos componentes de subducção, apesar de variar em função da fonte (Pearce, 2008). Conforme o autor deste diagrama, basaltos intraplaca derivados de pluma mantélica e MORB, sem relações com zonas de subducção e contaminação crustal, posicionam-se dentro do campo MORB-OIB do diagrama, enquanto que rochas relacionadas a zonas de subducção e contaminação crustal, posicionam-se, de forma oblíqua e subparalela, fora deste campo (Pearce, 2008). Neste diagrama, duas amostras da Unidade Novo Gosto e quatro amostras da Unidade Gentileza plotaram no campo MORB-OIB, próximas ao E-MORB, enquanto que as demais amostras posicionaram-se fora deste campo, formando um *trend* subparalelo em direção ao OIB, adentrando no campo de arco continental. O posicionamento das amostras dentro do campo MORB-OIB sugere o envolvimento de uma fonte enriquecida, tipo E-MORB, na geração dos protólitos das duas unidades, enquanto que as amostras que plotaram acima deste campo, apresentam um *trend* indicativo de adições variáveis de Th, que é acompanhado pelo aumento de Nb, que, conforme Pearce (2008), é mais facilmente explicado por influência de contaminação crustal.

No diagrama discriminante Nb_N *vs.* Th_N (normalizado pelo N-MORB de Sun & McDonough, 1989) de Saccani (2015) (Fig. 14B), a maior parte das amostras posicionam-se no campo de ambientes tipo rifte ou não relacionados com subducção, que corrobora com os demais diagramas utilizamos na distinção de ambientes tectônicos. As amostras que plotam no ambiente de arco continental são influenciadas pelo enriquecimento em Th e distribuem-se em um *trend* semelhante ao indicado para assimilação crustal, concomitante com cristalização fracionada (AFC). Neste diagrama, observa-se que as amostras baixo-Ti da Unidade Novo Gosto posicionam-se entre o N-MORB e o E-MORB, enquanto que as demais amostras dessa unidade encontram-se entre o E-MORB e o OIB, sugerindo um aumento de componentes tipo OIB. As amostras da Unidade Gentileza mostram uma forte participação de componentes tipo OIB, o que justifica os padrões de enriquecimento observados em outros diagramas. Estas constatações, apesar de não serem conclusivas, reforçam a hipótese da atuação de diferentes

fontes na geração dos protólitos ígneos das duas unidades e que contaminações por assimilação crustal podem ter ocorrido.

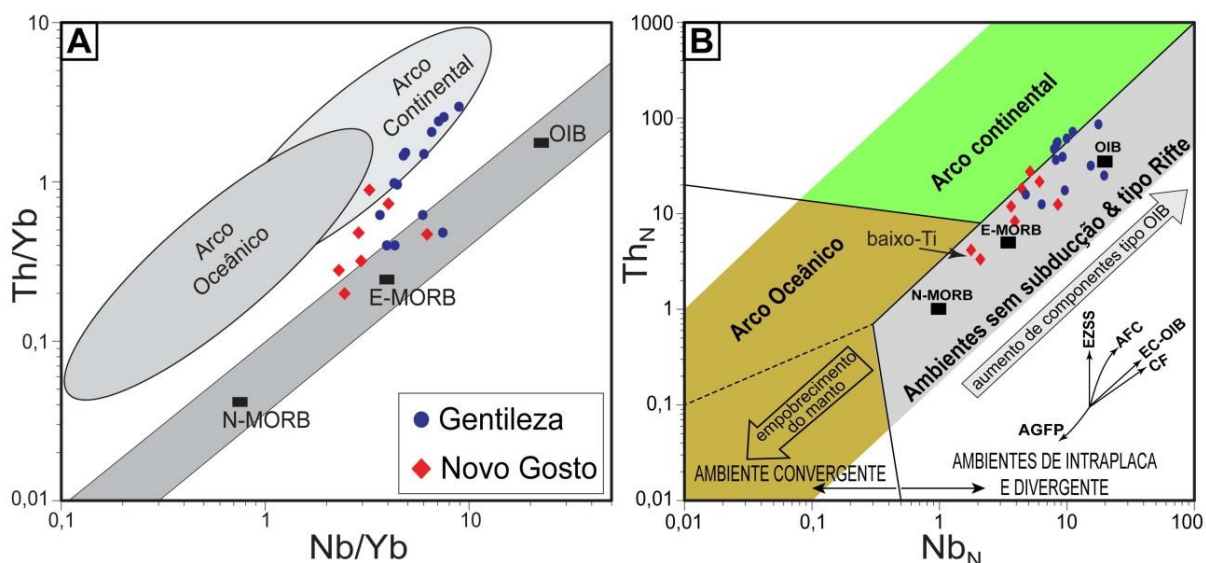


Figura 14. Diagramas de discriminação tectônica aplicados às rochas ortoanfibolíticas das unidades Novo Gosto e Gentileza. (A) Nb/Yb vs. Th/Yb (Pearce, 2008); (B) Nb_N vs. Th_N (Saccani, 2015). Os elementos estão normalizados pelo N-MORB (Sun & McDonough, 1989). Abreviações: N-MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica; E-MORB - basaltos de cordilheira meso-oceânica enriquecidos; OIB - basaltos de ilhas oceânicas; AGFP - aumento de grau de fusão parcial da fonte; EZSS - enriquecimento de zona de suprasubducção; AFC - assimilação concomitante com cristalização fracionada; EC-OIB - enriquecimento em componentes tipo OIB; CF - cristalização fracionada.

Figure 14. Tectonic discriminant diagrams applied to ortho-amphibolite rocks of Novo Gosto and Gentileza units. (A) Nb / Yb vs. Th / Yb (Pearce, 2008); (B) Nb_N vs. Th_N (Saccani, 2015). The elements have normalized by N-MORB (Sun & McDonough, 1989). Abbreviations: N-MORB - normal mid-ocean ridge basalts; E-MORB- enriched mid-oceanic ridge basalts; OIB- ocean island basalts; AGFP - increasing partial melting degree; EZSS - supra-subduction zone enrichment; AFC - assimilation-fractional crystallization; EC-OIB: ocean island-type (plume-type) component enrichment; CF - fractional crystallization.

A comparação dos padrões de elementos-traço e terras raras das rochas estudadas com possíveis magmas (tipo OIB, N-MORB e E-MORB) e contaminantes (crosta continental superior e inferior) (Fig. 15A), reforça as constatações obtidas nos diagramas de discriminação tectônica e evidencia padrões de enriquecimento crescentes em relação à fonte, que partem dos ortoanfibolitos baixo-Ti da Unidade Novo Gosto, que possui um padrão semelhante ao E-MORB, passando aos ortoanfibolitos alto-Ti desta unidade, com padrão intermediário entre E-MORB e OIB, culminando nos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza, que apresenta um padrão semelhante ao OIB. No entanto, como constatado anteriormente, as anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P presentes na maior parte das amostras não são

características de padrões E-MORB e OIB, mas se assemelham aos padrões de crosta continental superior e zona de subducção (Fig. 15A e B).

As características citadas acima são também observadas em rochas básicas relacionadas à ambientes de rifte intracontinental, como os observados no diagrama multi-elementar da figura 15B. Neste, é possível notar a similaridade dos padrões das rochas das unidades Novo Gosto (alto-Ti) e Gentileza com os de rochas básicas da Formação Serra Geral, conforme Oliveira & Tarney (1990) destacaram. No entanto, o padrão das rochas baixo-Ti da Unidade Novo Gosto apresenta-se mais empobrecido e não possui nenhuma semelhança com os das rochas básicas da Formação Serra Geral, mas acompanha, em parte, o padrão dos basaltos do Arco de Sunda de Chandrasekharam *et al.*, (2009), exceto para a proeminente anomalia negativa de Nb e Ta observadas nestas rochas. A presença de rochas básicas com teores contrastantes de Ti (baixo e alto-Ti) é descrita em diversos derrames basálticos continentais, como por exemplo: Grande Província Ígnea do Karoo (Jourdan *et al.*, 2007), Grande Província Ígnea dos *Traps* Siberianos (Ivanov *et al.*, 2008), Formação Serra Geral – Província Ígnea do Paraná (Peate *et al.*, 1996), Derrames Basálticos Continentais do Deccan (Melluso *et al.*, 2004), entre outros. Nestas, os basaltos baixo-Ti apresentam assinaturas de subducção semelhantes às descritas nas rochas estudadas e são interpretadas como produtos de fusões parciais de manto sublitosférico modificado por subducção prévia (Jourdan *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008) ou produtos de fusões parciais de manto sublitosférico modificado por fluidos, gerados pela desidratação da zona de transição do manto (Wang *et al.*, 2015, 2016).

Ao comparar, em maior detalhe, os padrões de elementos incompatíveis das rochas estudadas com os das rochas básicas da Formação Serra Geral (Fig. 15B), observa-se que os ortoanfibolitos alto-Ti da Unidade Novo Gosto apresentam teores de elementos-traço semelhantes às das rochas básicas alto-Ti do tipo Parapanema, obtidos por Rocha-Júnior *et al.*, (2013), enquanto os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza apresentam teores predominantemente mais enriquecidos que estes, principalmente em Nd, Zr e Hf, e se assemelham mais ao tipo Urubici, obtidos por Mincato (2000), porém não tão enriquecidos em Ti. Rocha-Júnior *et al.*, (2013) sugerem que os basaltos alto-Ti da Formação Serra Geral foram originados de fontes sublitosféricas metassomatizadas e enriquecidas por fluídos e/ou magmas relacionados com processos de subducção do Neoproterozóico. Modelos petrogenéticos envolvendo contaminação crustal são somente assumidos para os basaltos baixo-Ti da Formação Serra Geral, que podem ter envolvido a assimilação de componentes crustais do Paleoproterozóico e Neoproterozóico (Barreto *et al.*, 2016).

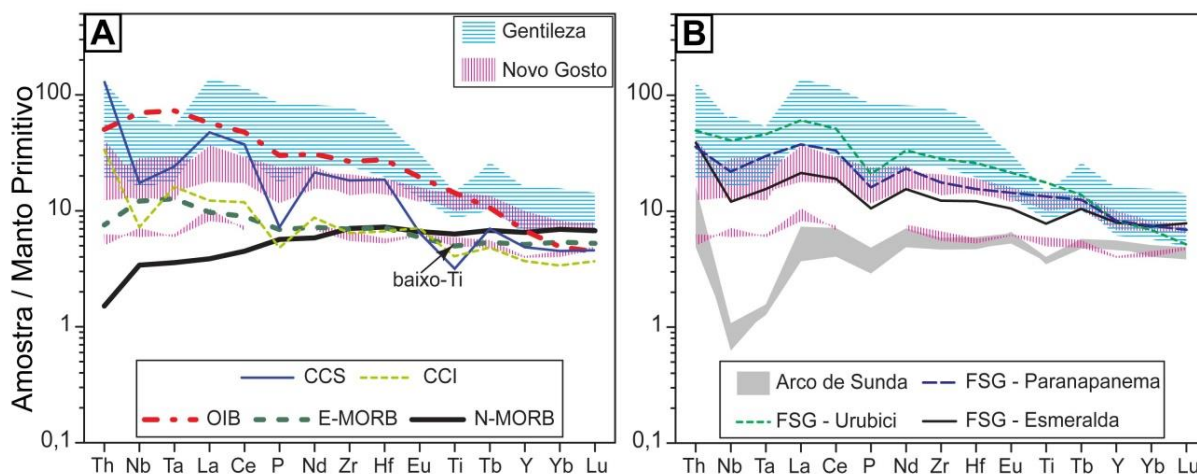


Figura 15. Diagramas multi-elementar de elementos-traço normalizados pelo manto primitivo (McDonough & Sun, 1995) dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza comparados com: A) N-MORB, E-MORB, OIB (Sun & McDonough, 1989), CCS (crosta continental superior) e CCI (crosta continental inferior) (Rudnick & Gao, 2003); B) Rochas básicas de rifte continental da Formação Serra Geral (FSG), representada por basaltos e basaltos andesíticos alto-Ti tipo Urubici (Mincato, 2000) e Paranapanema (Rocha-Júnior *et al.*, 2013) e basaltos baixo-Ti tipo Esmeralda (Peate, 1996), e basaltos do Arco de Ilha do Arco de Sunda (Chandrasekharam *et al.*, 2009).

*Figure 15. Spiderdiagrams of trace elements normalized by primitive mantle (McDonough & Sun, 1995) of ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units, compared to samples from: (A) N-MORB, E-MORB, OIB (Sun & McDonough, 1989), CCS (upper continental crust) and CCI (lower continental crust) (Rudnick & Gao, 2003); (B) Basic rocks of the Serra Geral Formation (FSG), represented by basalts and andesitic basalts high-Ti of Urubici (Mincato, 2000) and Paranapanema types (Rocha-Júnior *et al.*, 2013) and low-Ti basalts Esmeralda-type (Peate, 1996), and island arc basalts of the Sunda Arc (Chandrasekharam *et al.*, 2009).*

Um modelo petrogenético semelhante ao sugerido por Rocha-Júnior *et al.*, (2013), para explicar a formação dos basaltos alto-Ti da Formação Serra Geral, pode ser assumido para explicar a geração dos protólitos ígneos das Unidades Novo Gosto e Gentileza. No entanto, neste caso, diversos fatores sugerem o envolvimento de assimilação de crosta na geração dessas rochas, conforme discutido a seguir.

Materiais crustais são caracterizados por baixas razões de Nb/La, Sm/Nd, além de baixos teores de Mg e altos teores de SiO₂, acompanhados por valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativos. Diferente dessas, as rochas básicas derivadas do manto astenosférico possuem altas razões de Nb/La, Sm/Nd, além de altos teores de Mg, baixos teores de SiO₂ e valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ positivo (Wang *et al.*, 2016). Os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza apresentam baixas razões de Nb/La e Sm/Nd, semelhantes as observadas em crosta continental superior e inferior (Tab. 2), além de apresentar correlações negativas entre La/Sm - Nb/La (Fig. 16A). Nos ortoanfibolitos

alto-Ti da Unidade Novo Gosto, as razões de Nb/La e Sm/Nd são bastante variáveis, com proporções próximas as observadas em E-MORB até as encontradas em crosta continental superior e são acompanhadas por correlações negativas entre La/Sm - Nb/La (Fig. 16B). No entanto, os ortoanfibolitos baixo-Ti da Unidade Novo Gosto apresentam razões menos variáveis, com proporções de Nb/La compatíveis com crosta continental inferior e N-MORB, e razões Sm/Nd semelhantes a E-MORB e OIB (Tab.2). Razões Nb/La e Sm/Nd próximas as observadas na crosta continental superior, acompanhadas por correlações negativas entre La/Sm - Nb/La, são indicativas da presença de contaminação crustal durante a formação dos protólitos ígneos das unidades Novo Gosto e Gentileza. Argumentos semelhantes a estes foram utilizados por Wang *et al.* (2016), para identificar a participação de contaminação crustal nos Derrames Basálticos Continentais do Deccan.

Tabela 2. Razões Nb/La e Sm/Nd dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, N-MORB, OIB, E-MORB, CCS e CCI. Fontes: N-MORB, E-MORB e OIB (Sun & McDonough, 1989); Crosta Continental Superior (CCS) e Crosta Continental Inferior (CCI) (Rudnick e Gao, 2003).

Table 2. Nb/La and Sm/Nd ratios to ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza units, N-MORB, OIB, E-MORB, CCS and CCI. Sources: N-MORB, E-MORB, OIB (Sun & McDonough, 1989); Upper Continental Crust (CCS) and Lower Continental Crust (CCI) (Rudnick e Gao, 2003)

	Nb/La	Sm/Nd
Gentileza	0,34 - 0,63	0,17 - 0,22
Novo Gosto alto-Ti	0,41 - 1,72	0,23 - 0,29
Novo Gosto baixo-Ti	0,60 - 0,92	0,28 - 0,29
N-MORB	0,93	0,36
E-MORB	1,32	0,29
OIB	1,3	0,26
CCS	0,39	0,17
CCI	0,63	0,25

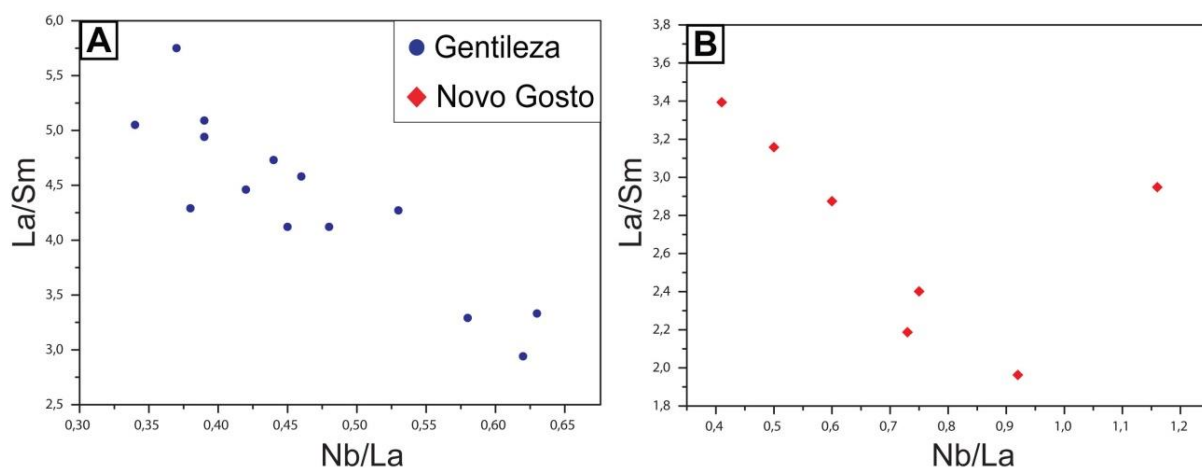


Figura 16. Razões La/Sm vs. Nb/La para os ortoanfibolitos das unidades (A) Gentileza e (B) Novo Gosto.

Figure 16. *La/Sm vs. Nb/La ratios to ortho-amphibolites of (A) Gentileza and (B) Novo Gosto units.*

Dados de $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativos obtidos por Nascimento (2005) para as rochas da Unidade Gentileza e levemente positivos para a Unidade Novo Gosto (Tab. 3), corroboram com a hipótese da participação de diferentes graus de contaminação crustal durante a formação dos protólitos das rochas estudadas. Na tabela 3 são apresentados dados de amostras selecionadas em que é possível observar uma evidente correlação positiva entre as razões Nb/La, Nb/Th, Sm/Nd e $\epsilon\text{Nd}(t)$, e uma correlação negativa destas com $(\text{La/Yb})_N$, que indicam diferentes graus de assimilação na formação dessas rochas. Vale lembrar que nas observações de campo foram identificadas feições de misturas tipo *mingling* e *mixing* nas rochas da Unidade Gentileza, marcando interações destas com metassienogranitos. Da mesma forma, nos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto foi também observado, em campo, interações destas rochas com rochas metassienograníticas. Estas evidências de interações entre os protólitos ígneos dos anfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza com rochas félsicas podem explicar, em parte, as assinaturas de contaminação crustal evidenciadas na geoquímica das rochas estudadas. No entanto, são necessários estudos envolvendo geoquímica isotópica para validar essa hipótese.

Tabela 3. Comparação de razões de elementos-traço, ETR e ETR normalizados pelo Condrito CI (McDonough e Sun, 1995) e dados isotópicos de $\epsilon\text{Nd}(t)$ dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza. Os dados das amostras iniciadas pela sigla CRN foram obtidos de Nascimento (2005). Abreviação: n.d. = não determinado.

Table 3 - Comparison among trace elements, REE and REE ratios normalized by Condrito CI (McDonough and Sun, 1995) and $\epsilon\text{Nd}(t)$ of ortho-amphibolites of Novo Gosto and Gentileza

units. Data obtained from Nascimento (2005). Data of CRN abbreviation samples have obtained from Nascimento (2005). Abbreviation: n.d. = not determined.

Unidade	Amostra	Nb/La	Sm/Nd	Nb/Th	(La/Yb)N	$\epsilon\text{Nd}_{(T)}$
Gentileza	CRN-251b	0,62	0,22	9,87	4,32	-0,67
	CRN-254	0,44	0,18	3,17	10,07	-3,9
	CRN-31a	0,37	0,17	3,01	16,1	-9,18
Novo Gosto	CS-05A	1,16	0,26	13,19	1,85	n.d.
	CRN-272a	0,73	0,27	5,94	2,68	0,82
	CS-08	0,5	0,25	3,62	4,41	n.d.

5. Conclusões

Os ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto ocorrem como diques intrusivos em sienogranitos e intercalados com metassedimentos, onde não é possível assumir, devido aos processos metamórficos e deformacionais, se originalmente constituíam rochas efusivas ou enxames de rochas intrusivas do tipo soleira.

Os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza ocorrem na forma de corpos hipabissais, onde a filiação ígnea dos anfibolitos é clara e destacada pelas feições reliquiais de misturas tipo *mingling e mixing*, evidenciadas por interações entre termos máficos (anfibolitos) e termos félsicos, representados por metasienogranitos, possivelmente, pertencentes a Suíte Intrusiva Curralinho.

Os dados petrográficos indicam que os protólitos ígneos das duas unidades foram metamorfizados em condições de Fácies Anfibolito e sofreram transformações retrometamórficas para o Fácies Xisto Verde. Evidências de processos hidrotermais também estão impressas nas rochas e devem estar relacionados à entrada de corpos graníticos tardios e zonas de cisalhamento.

Os dados químicos indicam que os protólitos dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza correspondem, em sua maioria, à andesitos e andesitos basálticos, com afinidades toleítica a cálcio-alcalina, enquanto que as rochas estudadas da Unidade Novo Gosto, correspondem a protólitos basálticos de afinidade toleítica.

Os dados geoquímicos dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto sugerem a existência de dois grupos de protólitos ígneos: um denominado de alto-Ti, caracterizado por teores de $\text{TiO}_2 > 2\%$, acompanhados por concentrações mais elevadas em P_2O_5 , HFSE e

Σ ETR quando comparados ao segundo grupo. Este, denominado de baixo-Ti, marcado por baixos teores de $\text{TiO}_2 < 1,19\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 < 0,01\%$, HFSE e Σ ETR.

Os ortoanfibolitos da Unidade Gentileza possuem concentrações de LILE, HFSE e ETR, em média, 1,5 a 3 vezes maiores que os dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto, apesar de possuírem teores de Ti semelhantes ao grupo alto-Ti.

Os dados obtidos nos diagramas discriminantes Zr - Z/Y (Pearce & Norry, 1979), Ti - Zr (Pearce, 1996), V-Ti-Sm (Vermeesch, 2006), Ti/V - Zr/Sm-Sr/Nd (Wang *et al.*, 2016), Nb/Yb - Th/Yb (Pearce, 2008) e $\text{Nb}_N - \text{Th}_N$ (Saccani, 2015), aliados à presença de anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P em diagramas multi-elementares normalizados e padrões de enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP, em ambos os ortoanfibolitos das unidades estudadas, permitem concluir que os protólitos ígneos dessas rochas foram formados em um ambiente intraplaca, possivelmente representado por um rifte continental, o que corrobora com a hipótese de Oliveira & Tarney (1990), Nascimento (2005) e Oliveira *et al.* (2010). A presença de rochas básicas com teores contrastantes de Ti (baixo e alto-Ti) é comum em diversos Derrames Basálticos Continentais e reforça essa hipótese.

A interpretação dos dados geoquímicos sugere que os magmas primitivos que deram origem aos protólitos ígneos dos ortoanfibolitos estudados foram derivados de uma mistura, em diferentes proporções, entre reservatórios enriquecidos (E-MORB) e empobrecidos (N-MORB), além da contribuição de componentes tipo OIB, sobretudo para a Unidade Gentileza. Razões Nb/La e Sm/Nd acompanhadas por correlações negativas entre La/Sm - Nb/La sugerem a participação, de diferentes graus, de contaminação crustal na geração dos protólitos ígneos de ambas as unidades. Dados de $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativos a levemente positivos (Tab. 3), obtidos por Nascimento (2005), para as rochas corroboram com esta hipótese.

Trabalhos futuros, envolvendo o detalhamento da composição isotópica dessas rochas, poderão auxiliar na avaliação de heterogeneidades mantélicas e confirmar as hipóteses desenvolvidas para a evolução petrogenética e a atuação de processos de assimilação/contaminação crustal na geração e evolução dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Agradecimentos - Este estudo constitui-se parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Os autores agradecem a CAPES, pela bolsa de mestrado, e ao CNPq pelo financiamento através dos projetos de pesquisa (processos: 461930/2014-5 e 458432/2014-8). Os autores expressam igualmente os agradecimentos às críticas e sugestões dos revisores.

Referências

- Agrawal, S., Guevara, M. & Verma, S.P., 2008. Tectonic discrimination of basic and ultrabasic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements. *International Geology Review*, 50: 1057-1079.
- Barreto, C.J.S., Lafon, J.M., Lima, E.F. & Sommer, C.A. 2016. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic insight into the low-Ti basalts from southern Paraná Igneous Province, Brazil: the role of crustal contamination. *International Geology Review*, 58 (11): 1324-1349.
- Bezerra, F.H.R. 1992. *Geologia e evolução petrológica do Complexo Gabróico Canindé do São Francisco e rochas adjacentes (Sergipe e Alagoas)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 220 p.
- Brito Neves, B.B., Sial, A.N. & Albuquerque, J.P.T. 1977. Vergência centrífuga residual no Sistema de Dobramentos Sergipano. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(2): 102 – 114.
- Brito, R.S.C., Pimentel, M.M., Wharto, J.A., Dantas, E.L., Seixas, S.R. & Moraes, L.C. 2006. Braziliano-Panafrican Sm-Nd and Ar-Ar dating results from the Canindé do São Francisco gabbros-Sergipano Belt, Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 5, *Short Papers*, Punta del Este, v.1, p.58-60.
- Bucher, K. & Grapes, R. 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin, Springer, 428 p.
- Chandrasekharam, D., Santo, A.P., Capaccioni, B., Vaselli, O., Alam, M. A., Manetti, P. & Tassi, F. 2009. Volcanological and petrological evolution of Barren Island (Andaman Sea, Indian Ocean). *Journal of Asian Earth Science*, 35: 469-487.
- Condie, K.C., 2001. *Mantle Plumes and Their Record in Earth History*. Cambridge University Press, London, 326p.
- D'el-Rey Silva, L.J.H. 1995. Tectonic Evolution of the Sergipano Belt, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 315-332.
- Davison, I. & Santos, R.A. 1989. Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research*, 45: 319-342.
- Ernst, W.G., Hacker, B.R., Barton, M.D. & Sen, G. 1991. Igneous petrogenesis of magnesian metavolcanic rocks from the central Klamath Mountains, northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 56 – 72.
- Hawkesworth, C.J., Lightfoot, P.C., Fedorenko, V.A., Blake, S., Naldrett, A.J., Doherty, W. & Gorbachev, N.S. 1995. Magma differentiation and mineralisation in the Siberian continental flood basalts. *Lithos*, 34: 61-88.
- Humphrey, F.L. & Allard, G.O., 1968. The Propriá Geosyncline, a newly recognized Precambrian tectonic province in the Brazilian shield. In: XXIII INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 23., 1968, Prague. *Anais...Prague*, v.4, p.123–139.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Ivanov, A., Demonerova, E., Rasskazov, S. & Yasnygina, T. 2008. Low-Ti melts from the southeastern Siberian Traps Large Igneous Province: evidence for a water-rich mantle source? *Journal of Earth System Science*, 117: 1–21.

- Jardim de Sá, E.F., Moraes, J.A.C. & Silva, L.J.H.D. 1986. Tectônica tangencial na Faixa Sergipana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34.,1986, Goiânia. *Anais...Goiânia, SBG*, v.3, p.1246.
- Jensen L.S., 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. *Ontario Division Mines Miscellaneous*, Paper 66: 22p.
- Jourdan, F., Bertrand, H., Schärer, U., Blichert-Toft, J., Féraud, G. & Kampunzu, A.B., 2007. Major and trace element and Sr, Nd, Hf, and Pb isotope compositions of the Karoo Large Igneous Province, Botswana–Zimbabwe: lithosphere vs mantle plume contribution. *Journal of Petrology*, 48: 1043–1077.
- Khalifa, I.H., El-Bialy, M. & Hassan, D.M. 2011. Petrologic and geochemical characterization and mineralization of the metavolcanic rocks of the Heib Formation, Kid Metamorphic Complex, Sinai, Egypt. *Geoscience Frontiers*, 2 (3): 385-402.
- Li, Z.X., Bogdanova, S.V., Collins, A.S., Davidson, A., De Waele, B., Ernst, R.E., Fitzsimons, I.C.W., Fuck, R.A., Gladkochub, D.P., Jacobs, J., Karlstrom, K.E., Lu, S., Natapov, L.M., Pease, V., Pisarevsky, S.A., Thrane, K. & Vernikovsky, V., 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis. *Precambrian Research*, 160: 179-210.
- Li, Y., Brouwer, F.M., Xiao, W., Wang, K.L., Lee, Y.H., Luo, B., Su, Y. & Zheng, J. 2017. Subduction-related metasomatic mantle source in the eastern Central Asian Orogenic Belt: Evidence from amphibolites in the Xilingol Complex, Inner Mongolia, China. *Gondwana Research*, 43: 193-212.
- McDonough, W.F. & Sun, S.S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.
- Melluso, L., Barbieri, M. & Beccaluca, L. 2004. Chemical evolution, petrogenesis, and regional chemical correlations of the flood basalt sequence in the central Deccan Traps, India. *Journal of Earth System Science*, 126(2):587-603.
- Mendes, V.A, Lima, M.A.B., Morais, D.M.F., Brito, M.F.L. 2017. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Alagoas: escala 1:250.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Menezes Leal, A.B., Paul, D., Silveira, W.P., Bastos Leal, L.R., Cruz, S.C.P. & Santos, J.P. 2008. Geoquímica das rochas meta-vulcânicas máficas do greenstone belt de Riacho de Santana, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(3): 476-487.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207-218.
- Mincato, R.L. 2000. *Metalogenia dos elementos do grupo da platina com base na estratigrafia e geoquímica da Província Ígnea Continental do Paraná*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 172p.
- Nascimento, R.S. 2005. *Domínio Canindé, Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil: um estudo geoquímico e isotópico de uma sequência de rifte continental neoproterozóica*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Campinas, 159p.
- Oliveira, E.P. & Tarney, J. 1990. Petrogenesis of the Canindé do São Francisco complex: a major late Proterozoic gabbroic body in the Sergipano fold belt, NE Brazil. *Journal South American Earth Science*, 3: 125-140.
- Oliveira, E.P., Toteu, S.F., Araújo, M.N.C., Carvalho, M.J., Nascimento, R.S., Bueno, J.F., McNaughton, N.J. & Basilici, G. 2006. Geologic correlation between the

- Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaounde belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 44: 470-478.
- Oliveira, E.P., Windley, B.F. & Araújo, M.N.C. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181: 64-84.
- Oliveira, E.P., Bueno, J.F., McNaughton, N.J., Silva Filho, A.F., Nascimento, R.S. & Donatti-Filho, J.P. 2015. Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 44: 1-24.
- Pearce, J.A. & Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 290-300.
- Pearce, J.A. & Norry, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69: 38-47.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from the destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites*: Chichester, John Wiley and Sons, p. 525-548.
- Pearce, J.A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. *Geological Association of Canada Special Publication*, 12: 79-113.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100: 14-48.
- Pearce, J. A. 2014. Immobile Elements Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, 10: 101-108.
- Peate, D.W., Hawkesworth C.J. 1996. Lithospheric to asthenospheric transition in low-ti flood basalts from southern Parana, Brazil. *Chemical Geology*, 127:1-24.
- Rocha-Júnior, E.R.V., Marques, L.S., Babinski, M., Nardy, A.J.R., Figueiredo, A.M.G. & Machado, F.B. 2013. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná Continental Flood Basalts (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 46: 9-25.
- Rollinson H. R., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Logman, UK. 352 pp.
- Rudnick, R.L. & Gao, S., 2003. *Composition of the continental crust*. In: Rudnick, R.L. (Ed.), *The Crust*. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 1-64.
- Passos, L.H. 2016. Caracterização petrográfica, química mineral e geotermobarometria de rochas da Unidade Novo Gosto, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 225p.
- Saccani, E., 2015. A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics. *Geoscience Frontiers*, 6: 481-501.
- Sheraton, J.W., 1984. Chemical changes associated with high-grade metamorphism of mafic rocks in the east Antarctic shield. *Chemical Geology*, 47:135-157.
- Shervais, J.W. 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59: 101-118.
- Seixas, S.R.M. & Moraes, L.C. 2000. The Canindé Domain: its different gabbroic rocks. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. *Anais...*p.6.

- Silva Filho, M.A. 1976. A suíte ofiolítica da Geossinclinal de Propriá. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29.,1976, Ouro Preto. *Anais...Ouro Preto*, SBG, p. 51.
- Silva, Filho M.A. 1998. Arco vulcânico Canindé-Marancó e a Faixa Sul-Alagoana: sequências orogênicas Mesoproterozóicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50., 1998, Belo Horizonte. *Anais...Belo horizonte*, SBG, p. 16.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London Special Publication*, 42: 313-345.
- Taylor S. R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.
- Texeira, L.R., Lima, E.S., Neves, J.P., Santos, R.A., Santiago, R.C. & Melo, R.C. 2014. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe, Salvador, CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:250.000.
- Trompette R., 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma). Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa*. A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, p. 350.
- Verma, S.P., Guevara, M. & Agrawal, S. 2006. Discriminating four tectonic settings: five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks based on log-ratio transformation of major-element data. *Journal of Earth Systems Science*, 115: 485-528.
- Verma, S.P. & Agrawal, S., 2011. New tectonic discrimination diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of high field strength elements and implications for petrogenetic processes. *Revista Mexicana Ciencias Geológicas*, 28: 24-44.
- Verma, S.K. & Oliveira, E.P. 2015. Tectonic setting of basic igneous and metaigneous rocks of Borborema Province, Brazil using multi-dimensional geochemical discrimination diagrams. *Journal of South American Earth Sciences*, 58: 309-317.
- Vermeesch, P., 2006. Tectonic discrimination diagrams revisited. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 7: 1-55.
- Weaver, B.L. & Tarney, J., 1981. Chemical changes during dyke metamorphism in high-grade basement terrains. *Nature*, 289: 47-49.
- Wang, X.C., Li, Z.X., Li, J., Pisarevsky, S.A. & Wingate, M.T.D., 2014. Genesis of the 1.21 Ga Marnda Moorn large igneous province by plume-lithosphere interaction. *Precambrian Research*, 241: 85-103.
- Wang, X.C., Wilde, A.S., Li, Q.L. & Yang, Y.N. 2015. Continental flood basalts derived from the hydrous mantle transition zone. *Nature Communication*, 6.
- Wang X.C., Wilde, S.A., Xu, B. & Pang, C.J. 2016. Origin of arc-like continental basalts: Implications for deep-Earth fluid cycling and tectonic discrimination. *Lithos*, 261: 5-45.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11-30.
- Xia, L.Q., 2014. The geochemical criteria to distinguish continental basalts from arc related ones. *Earth-Science Reviews*, 139: 195-212.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis a global tectonic approach*. London, Springe.

CAPÍTULO III - Conclusões

CONCLUSÕES

Os trabalhos de campo associados às análises petrográficas e geoquímica permitiram a identificação de anfibolitos ortoderivados, presentes nas Unidades Novo Gosto e Gentileza, no Domínio Canindé. Os dados petrográficos indicam que os protólitos ígneos de ambas as unidades foram submetidos a condições metamórficas compatíveis com o Fácies Anfibolito, marcado por hornblenda \pm plagioclásio, com transformações retrometamórficas para o Fácies Xisto-Verde, marcada principalmente por biotita \pm epídoto \pm clorita \pm sericita. Essas transformações, possivelmente, foram catalisadas por fluidos hidrotermais e podem estar relacionadas à entrada de corpos graníticos tardios e zonas de cisalhamento.

A composição química dos protólitos dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza é equivalente à de andesitos e andesitos basálticos, com afinidade toleítica a cálcio-alcalina, enquanto que as da Unidade Novo Gosto, correspondem a basaltos de afinidade toleítica.

Apesar do número reduzido de amostras, a litoquímica dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto possibilitou dividir os protólitos ígneos em alto-Ti e baixo-Ti. Os protólitos ígneos alto-Ti afloram na maior parte da área estudada, apresentam $\text{TiO}_2 > 2\%$ acompanhado por concentrações mais elevadas em P_2O_5 , HFSE e ΣETR . O baixo-Ti, que ocorre somente no extremo oeste da área, é caracterizado por baixos conteúdos de $\text{TiO}_2 < 1,19\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 < 0,01\%$, acompanhado por baixos teores de HFSE e ΣETR . Na geoquímica dos ortoanfibolitos da Unidade Gentileza, destaca-se as altas concentrações de LILE, HFSE e ETR, que em média chegam a valores 1,5 a 3 vezes maiores que os valores dos ortoanfibolitos da Unidade Novo Gosto, com exceção dos valores de Ti, que se assemelham com os do grupo alto-Ti.

A interpretação dos dados químicos dos ortoanfibolitos estudados nos diagramas discriminantes Zr - Z/Y (Pearce & Norry, 1979), Ti - Zr (Pearce, 1996), V-Ti-Sm (Vermeesch, 2006), Ti/V - Zr/Sm-Sr/Nd (Wang *et al.*, 2016), Nb/Yb - Th/Yb (Pearce, 2008) e $\text{Nb}_N - \text{Th}_N$ (Saccani, 2015), aliados à presença de anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P em diagramas multi-elementares de elementos-traço normalizados e padrões de enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP, permitem concluir que os protólitos ígneos dos ortoanfibolitos foram formados em um ambiente de rifte continental, o que está em conformidade com a hipótese de Oliveira & Tarney (1990), Nascimento (2005) e Oliveira *et al.* (2010). Com base nesses dados, a geração dos protólitos ígneos envolveu a mistura, em diferentes proporções, de reservatórios empobrecidos (N-MORB) e enriquecidos (E-MORB), além da contribuição de componentes tipo OIB. A contribuição dos componentes tipo OIB é

mais evidente nas rochas da Unidade Gentileza e em menor parte, nos ortoanfibolitos alto-Ti da Unidade Novo Gosto. A participação de diferentes graus de contaminação crustal na geração desses ortoanfibolitos é assumida, com base nas razões Nb/La e Sm/Nd próximas às observadas na crosta continental superior, acompanhadas por correlações negativas entre La/Sm - Nb/La e são corroboradas por dados de $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativos obtidos por Nascimento (2005).

ANEXOS

Porto Alegre, 27 de abril de 2017.

À Leidinae Cerqueira de Carvalho de Liz e colaboradores

Venho comunicar o **recebimento** do manuscrito listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

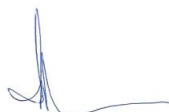
Em breve serão iniciados os procedimentos editoriais que precedem a avaliação por pares, incluindo: exame do conteúdo, verificação de consonância com as linhas temáticas da revista, formatação e linguagem.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição.

Manuscrito: Petrografia e geoquímica dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil.

Autores: Leidiane Cerqueira de Carvalho de Liz, Adriane Machado, Joaquim Daniel de Liz & Josiene Maria de Almeida.

Atenciosamente,



Prof. Dr. Paulo Alves de Souza - Editor Chefe

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127

CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

Anexo II: Amostras estudadas e as respectivas coordenadas UTM.

Pontos	Unidades	Litologia	Coordenadas	Lâminas	Geoquímica
CS-04	Novo Gosto	Ortoanfibolito	639132/8922138	X	X
CS-05A	Novo Gosto	Ortoanfibolito	639112/8922142	X	X
CS-05C	Novo Gosto	Ortoanfibolito	639112/8922142	X	
CS-05D	Novo Gosto	Ortoanfibolito	639112/8922142	X	
CS-06	Novo Gosto	Ortoanfibolito	639147/8922/101	X	
CS-07A	Novo Gosto	Para-anfibolito	651753/8920827	X	X
CS-07B	Novo Gosto	Para-anfibolito	651753/8920827	X	
CS-08	Novo Gosto	Ortoanfibolito	641686/8921499	X	X
CS-010A	Novo Gosto	Ortoanfibolito	630222/8932283	X	X
CS-010B	?	Metasienogranito	630222/8932283	X	
CS-013	Novo Gosto	Ortoanfibolito	620473/8932805		X
CS-014	Novo Gosto	Ortoanfibolito	620673/8932571		X
CS-01	Gentileza	Ortoanfibolito	632410/8933780	X	X
CS-02	Gentileza	Ortoanfibolito	632217/8933614	X	
CS-03	Gentileza	Ortoanfibolito	632044/8933483	X	X
CS-03A	Gentileza	Ortoanfibolito	632044/8933483	X	
CS-09	Gentileza	Metasienogranito	629425/8934193	X	
CS-011	Gentileza	Ortoanfibolito	630264/8932029	X	X
CS-012	SGC*	Ortoanfibolito	626973/8928626	X	X
CS-018	Gentileza	Ortoanfibolito	634998/8934692		X
PLJ-22B	Gentileza	Ortoanfibolito	630257/8903235		X
PLJ-22C	Gentileza	Ortoanfibolito	630257/8903235		X

*SGC=Suíte Gabróica Canindé

Anexo III. Análises modais representativas dos minerais constituintes das rochas estudadas.

Amostra/Mineral	Plagioclásio	Hornblenda	Biotita	Quartzo	Clorita	Epidoto	Titanita	Minerais Opacos	Apatita	Zircão	Sericita	Nomeclatura
CS-01	37,5	31,0	19,5	2,5	0,0	1,0	4,5	0,5	2,5	1,0	0,0	Bt Anfíbolito
CS-03	33,5	50,2	0,0	0,0	2,0	0,0	4,8	2,5	1,5	1,0	4,5	Bt Anfíbolito
CS-11	35,3	27,7	23,6	0,0	0,0	0,0	3,3	4,0	4,7	0,0	1,3	Bt Anfíbolito
CS-05A	28,5	26,5	0,0	3,0	15,5	7,5	0,0	6,0	0,5	0,0	12,5	Op-Ep-Ser-Chl Anfíbolito
CS-06	33,5	25,0	0,0	3,0	9,0	12,0	0,0	8,5	0,0	0,5	8,5	Op-Ser-Chl-Ep Anfíbolito
CS-08	39,3	23,4	12,8	1,5	7,0	8,0	0,0	3,0	1,0	1,0	3,0	Chl-Ep-Bt Anfíbolito
CS-10A	37,5	35,0	5,5	0,0	4,5	9,0	0,0	5,5	0,5	0,0	2,5	Op-Bt-Ep Anfíbolito

Abreviaturas: Bt=biotita; Op=minerais opacos; Ep=epídoto; Ser=sericita; Chl=clorita; (Abreviações conforme Bucher & Grapes, 2011).

Anexo IV. Análise química de rocha total das amostras das unidades Novo Gosto e Gentileza.

Unidade Novo Gosto									
	CS-04A	CS-05A	CS-08	CS-10A	CS-013	CS-014	CRN-88a	CRN-88b	CRN-272a
SiO₂ (%)	45,20	50,38	54,02	51,13	51,43	50,64	50,03	49,56	46,40
TiO₂	2,02	3,09	2,65	2,00	1,01	1,19	2,94	2,52	2,16
Al₂O₃	13,81	12,29	13,44	16,19	13,97	14,37	14,12	15,16	15,28
Fe₂O₃	11,77	15,43	14,32	11,37	11,94	12,75	13,94	13,39	14,51
MnO	0,20	0,31	0,25	0,19	0,23	0,22	0,24	0,22	0,21
MgO	8,16	6,84	4,51	7,77	7,58	7,43	5,73	6,36	7,90
CaO	5,73	9,07	7,77	9,61	13,34	10,98	8,55	7,90	8,24
Na₂O	2,63	1,69	2,39	2,91	0,99	2,68	3,65	3,73	3,57
K₂O	0,81	0,19	1,17	0,76	0,12	0,22	0,45	0,62	0,18
P₂O₅	0,29	0,28	0,49	0,49	<0,01	<0,01	0,35	0,29	0,24
Cr₂O₃	0,03	0,03	<0,01	0,03	0,04	0,03	n.d.	n.d.	n.d.
P.F.	10,64	2,83	1,66	0,88	0,68	0,59	0,20	0,69	1,39
Total	101,29	102,42	102,68	103,31	101,28	101,09	100,20	100,44	100,10
Ba (ppm)	164	111	471	252	60	63	169	250	73
Rb	17,90	5,70	26,10	14,70	0,90	5,60	5,30	11,80	5,31
Sr	235	304	283	375	266	195	434	299	250
Cs	0,79	0,85	0,74	0,55	0,15	0,27	0,57	<11	0,98
Th	2,50	1,50	3,30	1,00	0,50	0,40	2,60	2,20	1,43
U	0,51	0,43	1,00	0,44	0,15	0,13	0,77	2,00	0,38
Zr	132	143	178	201	59	71	219	167	156
Hf	3,93	4,14	5,30	5,06	1,51	1,63	5,41	n.d.	3,93
Nb	8,86	19,79	11,95	9,10	4,13	4,88	14,20	10,30	8,50
Y	22,84	29,09	34,97	29,32	17,15	17,59	43,00	40,00	31,63

PF= Perda ao Fogo; n.d.= Não determinado

Continuação...

Unidade Novo Gosto (Continuação)									
	CS-04A	CS-05A	CS-08	CS-10A	CS-013	CS-014	CRN-88a	CRN-88b	CRN-272a
Ta	0,56	1,11	0,76	0,46	0,23	0,22	0,99	n.d.	0,55
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	121	190	319
Ni	47	64	24	119	127	115	42	62	47
Co	42	52	40,9	47,2	44,7	49	n.d.	n.d.	n.d.
V	318	479	336	181	266	285	406	365	359
W	6,4	2,3	2,5	2,6	<0,1	1,4	n.d.	n.d.	n.d.
Ga	19,30	18,30	23,70	19,20	17,00	17,40	24,40	24,40	25,10
Sn	0,5	1	1,4	1,5	0,7	1	<3	<3	<3
Zn	123	123	112	80	81	90	116	113	121
Cu	8	78	83	54	161	157	113	134	80
La	16,70	17,10	24,00	22,40	6,90	5,30	18,90	6,00	11,70
Ce	28,40	34,50	48,80	47,90	11,70	12,80	38,00	27,00	29,34
Pr	3,79	4,55	6,42	6,34	1,72	1,95	6,72	n.d.	4,04
Nd	18,00	22,20	30,90	29,10	8,60	9,40	27,00	19,00	19,49
Sm	4,60	5,80	7,60	6,60	2,40	2,70	7,87	n.d.	5,35
Eu	1,63	1,84	2,49	2,09	0,96	0,97	2,36	n.d.	1,90
Gd	5,46	6,52	8,60	7,26	2,99	3,16	8,25	n.d.	6,00
Tb	0,82	1,00	1,25	1,07	0,48	0,56	1,33	n.d.	1,01
Dy	4,98	6,45	7,79	6,46	3,27	3,50	7,41	n.d.	5,78
Ho	0,95	1,20	1,44	1,20	0,69	0,77	1,58	n.d.	1,25
Er	2,94	3,57	4,22	3,53	2,11	2,13	4,14	n.d.	3,30
Tm	0,38	0,47	0,56	0,47	0,29	0,29	0,58	n.d.	0,49
Yb	2,60	3,20	3,70	3,10	1,80	2,00	3,55	n.d.	2,97
Lu	0,36	0,45	0,52	0,43	0,32	0,33	0,54	n.d.	0,44

PF= Perda ao Fogo; n.d.= Não determinado

Unidade Gentileza														
	CS-01	CS-03	CS-018	PLJ-022B	PLJ-022C	CS-11	CRN-31a	CRN-201a	CRN-220a	CRN-225a	CRN-251b	CRN-253b	CRN-254a	CRN-265
SiO₂ (%)	53,77	56,04	52,82	57,19	50,32	49,79	54,81	48,38	51,43	48,82	49,75	49,46	49,35	48,74
TiO₂	2,38	2,06	2,14	2,07	2,49	2,95	1,90	1,76	2,36	2,48	2,22	2,51	2,19	2,61
Al₂O₃	14,65	15,05	15,60	14,95	15,14	14,42	14,94	16,30	14,68	14,34	15,36	15,18	15,21	14,85
Fe₂O₃	10,51	9,65	10,78	10,45	11,80	12,66	9,38	10,67	11,53	13,03	12,03	12,52	11,92	13,24
MnO	0,15	0,15	0,19	0,18	0,21	0,24	0,15	0,19	0,18	0,20	0,18	0,19	0,18	0,19
MgO	4,44	3,99	5,47	2,54	3,07	4,15	3,89	7,29	4,86	6,41	6,10	5,20	6,04	5,68
CaO	5,91	5,22	7,07	5,04	5,86	6,98	5,58	8,68	7,36	8,38	8,13	8,37	8,07	7,64
Na₂O	3,80	3,54	3,17	3,71	3,62	3,84	3,91	2,68	3,86	3,17	3,18	3,41	3,16	3,12
K₂O	2,70	3,17	2,39	2,86	2,69	2,41	3,28	2,48	1,99	1,81	1,79	1,60	1,78	2,04
P₂O₅	0,81	0,96	0,46	0,97	1,13	1,75	0,83	0,36	0,65	0,56	0,42	0,62	0,42	0,61
Cr₂O₃	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
P.F.	0,88	2,23	1,93	0,64	0,40	0,62	0,32	1,52	0,79	0,79	1,06	0,58	1,40	1,16
Total	100,02	102,06	102,01	100,58	96,72	99,81	98,99	100,31	99,69	99,99	100,22	99,64	99,71	99,88
Ba (ppm)	1604	1627	1386	1254	1218	1079	1554	549	617	521	486	607	1137	519
Rb	57,30	81,80	89,60	87,70	84,30	71,50	160,00	59,00	75,00	72,78	82,54	48,15	181,67	77,58
Sr	981	903	442	456	487	550	1040	385	385	362	343	409	680	364
Cs	3,37	3,39	1,80	0,83	0,52	0,84	8,26	2,59	3,19	5,24	3,92	2,54	11,99	2,49
Th	6,60	6,70	5,70	10,30	3,00	3,80	8,60	1,90	7,30	4,38	1,50	2,10	6,02	4,71
U	1,31	1,46	1,65	2,30	0,99	1,30	4,90	0,71	1,96	1,39	1,12	1,77	2,28	1,28
Zr	280	329	440	651	822	695	322	260	398	337	296	345	296	397
Hf	7,29	8,32	9,24	14,47	16,90	15,15	8,06	5,59	12,23	9,08	7,71	11,83	6,80	10,54
Nb	19,43	19,73	18,48	41,20	45,80	35,94	25,88	11,11	23,21	19,10	14,80	22,48	19,08	21,61
Y	26,83	30,27	37,56	69,27	67,51	62,40	32,00	31,00	51,27	46,29	39,40	53,32	32,67	51,83
Ta	1,30	1,16	1,02	2,04	2,00	1,91	1,83	0,68	1,33	1,11	0,90	1,40	1,21	1,40
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	105	23	89	53	18	26	73	57

PF= Perda ao Fogo; n.d.= Não determinado

Continuação...

Unidade Gentileza (Continuação)														
Samples	CS-01	CS-03	CS-018	PLJ-022B	PLJ-022C	CS-11	CRN-31a	CRN-201a	CRN-220a	CRN-225a	CRN-251b	CRN-253b	CRN-254a	CRN-265
Ni	79	59	74	9	11	12	39	78	23	57	67	29	147	47
Co	31,7	27,7	36,4	20,5	24,7	31,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
V	152	116	213	107	118	155	153	233	227	277	246	271	141	274
W	2,5	4	3,9	4,5	0,4	1,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ga	21,40	21,70	22,40	26,50	27,40	24,90	21,00	22,30	24,70	24,70	22,70	24,40	18,80	26,60
Sn	1,8	1,7	3	2,8	2,4	2,5	7	8	4	6	4	6	11	4
Zn	109	103	122	137	162	157	124	112	109	122	110	123	102	117
Cu	40	25	36	20	21	26	37	24	38	44	46	36	59	44
La	49,90	58,10	46,80	89,80	86,70	86,60	69,09	29,00	48,00	42,00	24,00	35,63	43,37	37,00
Ce	104,60	123,80	88,60	197,10	195,20	191,40	149,77	49,74	119,04	90,61	60,52	103,00	105,80	96,42
Pr	12,84	14,74	11,08	24,51	25,22	23,21	18,04	7,18	14,46	11,40	8,55	11,81	12,88	12,33
Nd	54,70	62,80	44,50	98,50	103,50	99,30	69,66	30,72	57,43	47,67	36,46	49,04	50,41	51,62
Sm	10,10	11,50	9,20	19,60	20,30	19,40	12,02	6,76	11,65	10,20	8,15	10,70	9,17	11,23
Eu	2,96	3,19	2,57	4,28	4,60	4,98	3,23	2,03	3,05	2,92	2,53	2,99	2,28	3,05
Gd	8,92	10,31	9,33	17,46	18,95	18,09	9,05	6,68	11,05	10,11	8,22	10,65	7,35	10,89
Tb	1,14	1,29	1,40	2,59	2,62	2,48	1,28	1,04	1,69	1,56	1,30	1,71	1,10	1,72
Dy	6,26	6,89	7,63	14,59	14,68	13,93	6,73	5,89	9,45	8,75	7,29	9,61	6,04	9,59
Ho	1,07	1,20	1,53	2,73	2,78	2,45	1,29	1,25	1,95	1,84	1,54	2,06	1,21	2,03
Er	3,00	3,34	4,21	7,76	7,35	7,14	3,39	3,33	5,25	4,87	4,11	5,54	3,24	5,37
Tm	0,40	0,43	0,59	1,05	1,02	0,93	0,47	0,49	0,77	0,71	0,60	0,83	0,47	0,78
Yb	2,60	2,80	3,90	6,90	6,20	6,10	2,92	3,05	4,79	4,47	3,77	5,23	2,93	4,89
Lu	0,34	0,38	0,56	0,97	0,89	0,87	0,45	0,46	0,72	0,67	0,57	0,78	0,44	0,73

n.d.= Não determinado

APÊNDICE

Apêndice

A participação dos coautores foi essencial na elaboração do trabalho. Estes participaram dos trabalhos de campo e das discussões geradas na fase de interpretação dos dados petrográficos e geoquímicos. O segundo e terceiro coautores tiveram envolvimento no planejamento e execução de todas as fases do trabalho. O quarto coautor participou de forma efetiva das descrições e interpretações petrográficas. Por fim, os coautores tiveram um envolvimento fundamental na realização do trabalho, sendo que cada um deles contribuiu de forma considerável em uma parte ou em todas as fases do trabalho.